

VŠB - Technická univerzita Ostrava

Fakulta stavební

Katedra dopravního stavitelství

Obor: Dopravní stavby

Posouzení vlivu adhezivních přísad u asfaltových směsí

Assessment of the impact of adhesive additives in asphalt mixtures

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vypracovala: Bc. Lucie Zmítková

Vedoucí diplomové práce: Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.

Ostrava 2018

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Lucie Zmítková**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T036 Dopravní stavby

Specializace: 01 Dopravní stavby

Téma: **Posouzení vlivu adhezivních přísad u asfaltových směsí**
Assessment of the impact of adhesive additives in asphalt mixtures

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Úkol diplomanta bude laboratorně ověřit vliv adhezivních přísad na přilnavost asfaltového pojiva a kameniva a dále na odolnost asfaltových směsí vůči vodě. Na vzorcích bude provedena a vyhodnocena zkouška dle ČSN 73 6161 a dále budou provedeny i zkoušky na samotných směsích dle ČSN EN 12697-12. Cílem práce bude vyhodnotit výsledky zkoušek a shrnout získané zkušenosti a poznatky.

Seznam doporučené odborné literatury:

1. DRAFT prEN 12697-11: 2005. Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt – Part 11: Determination of the affinity between aggregate and bitumen. February 2005.
2. SN 670 460: 1997. Bituminöses Mischgut, Prüfvorschriften –Haftvermögen von bituminösen Bindemitteln an Mineralstoffen, VSS Ausgabe, 1997.
3. ČSN 73 6161. Stanovení přilnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu. ČNI, Praha, květen 2000.
4. ČSN EN 12697-12. Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě. ÚNMZ, 2009.
5. ANGST, C. BELTZUNG, F. and M. HUGENER. Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen 5 nationale Umsetzung der EN, Forschungsauftrag VSS 2005/505, Bundesamt für Strassen, Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, ASTRA Bericht 1289, 2010.
6. UBLER, R., PARTL, M. CANESTRARI, F. and A. GRILLI. Influence of water and temperature on mechanical properties of selected asphalt pavements, Materials and Structures vol. 38, p. 523-532, 2005.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

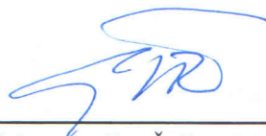
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Denisa Cihlářová, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2018

Datum odevzdání: 30.11.2018



doc. Ing. Miloslav Řezáč, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty



Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 30. 11. 2018



.....
podpis studenta

Prohlašuji:

- byla jsem seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 30. 11. 2018



.....
podpis studenta

Poděkování

Děkuji paní Ing. Denise Cihlářové, Ph.D. za odborné vedení práce, její věcné připomínky a dobré rady, také za vstřícnost při konzultacích a vypracování diplomové práce.

Rovněž děkuji také celému týmu TPA ČR, který má pracovníky na pobočce Polanecká 827/49, Ostrava-Svinov, a který mi pomáhal s praktickou částí mé diplomové práce (nastavení přístrojů, praktické rady apod.).

Anotace

V diplomové práci je řešena přilnavost asfaltu ke kamenivu a odolnost asfaltových směsí vůči vodě. Jedná se o přilnavost, kdy je část asfaltu nahrazena určitou přísadou v různém poměru. Tyto přísady jsou čtyři. Tři z nich jsou od firmy Environ. Jejím cílem je zjistit kvalitu přísad. Čtvrtá přísada pochází od firmy Evonik Nutrition & Care GmbH. Dále byly vyrobeny zkušební vzorky pouze s asfaltem a s nejlépe a nejhůře přilnavou přísadou. U nich byly zjišťovány základní parametry a jejich odolnost vůči vodě. Výsledky jsou velmi příznivé a odolnost směsí s přísadami vůči vodě je kolem 90%. Odolnost směsi bez přísad dosáhla hodnoty 61%, to znamená, že nevyhověla o 9%. Další základní parametry jsou si velmi blízké u všech tří zkoušených směsí a jsou v normou stanovených mezích.

Klíčová slova:

Přilnavost, odolnost vůči vodě, asfaltové směsi, zkušební tělesa, kamenivo, přísada.

Annotation

The diploma thesis deals with the adhesion of asphalt to aggregate and the resistance of asphalt mixtures to water. This is adhesion where part of the asphalt is replaced by a definite additive in a different ratio. These additives are four. Three of them are from Environ. Its aim is to determine the quality of the additive. The fourth additive comes from Evonik Nutrition & Care GmbH. Farther away were made test bodies only with asphalt and with the best and worst adhesion. The basic parameters and their resistance to water were discovered. The results are very favorable and the resistance of the mixtures with the water additives is around 90%. The resistance of the non-additive mixture was 61%, that is, it failed by 9%. Other basic parameters are very close to all three tested mixtures and are within the specified limits.

Key words:

Adhesion, water resistance, asphalt mixtures, test bodies, aggregates, additive.

Obsah

Obsah	8
Seznam použitých zkratk	10
1. Úvod.....	11
2. Odborná rešerše	12
2.1. Obecná teorie	12
2.1.1. Přilnavost	12
2.1.2. Odolnost zkušebních těles vůči vodě.....	12
2.1.3. Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost, mezerovitost.....	12
2.2. Normy pro účel DP	13
2.2.1. ČSN 73 6161.....	13
2.2.2. ČSN EN 12697-5	13
2.2.3. ČSN EN 12697-6	15
2.2.4. ČSN EN 12697-8	15
2.2.5. ČSN EN 12697-12	16
2.2.6. ČSN EN 12697-23	16
2.3. Související a doplňující normy.....	18
2.3.1. ČSN EN 12697-11	18
2.3.2. ČSN EN 12697-29	18
2.3.3. ČSN EN 12697-30	18
2.3.4. ČSN EN 12697-35	19
2.3.5. ČSN EN 13108-1	20
2.3.6. ČSN EN 13108-20	20
3. Praktická část DP	21
3.1. Popis surovin.....	21
3.1.1. Kamenivo pro přilnavost	21
3.1.2. Kamenivo pro směsi	21
3.1.3. Asfalty.....	22
3.1.4. Přísady	24
3.2. Přilnavost.....	26
3.2.1. Postup zkoušky	26
3.2.2. Výsledky	30
3.2.3. Vyhodnocení výsledků	38
3.3. Výroba směsi a těles.....	41
3.3.1. Základní informace k výrobě směsi.....	41
3.3.2. Postup výroby směsi	41
3.3.3. Základní informace pro přípravu těles.....	42

3.3.4.	Příprava těles.....	43
3.4.	Zjišťování základních parametrů	45
3.4.1.	Stanovení maximální objemové hmotnosti.....	45
3.4.2.	Výsledky	47
3.4.3.	Stanovení objemové hmotnosti.....	49
3.4.4.	Výsledky	49
3.4.5.	Stanovení mezerovitosti.....	50
3.4.6.	Výsledky	51
3.4.7.	Stanovení stupně vyplnění mezer	51
3.4.8.	Výsledky	51
3.4.9.	Obsah rozpustného pojiva.....	52
3.4.10.	Výsledky	52
3.4.11.	Vyhodnocení výsledků.....	52
3.5.	Odolnost vůči vodě	54
3.5.1.	Postup zkoušky	54
3.5.2.	Výsledky	56
3.5.3.	Vyhodnocení výsledků	60
3.6.	Tabulka výsledků	61
4.	Závěr	62
5.	Zdroje.....	64
5.1.	Seznam použitých norem	64
5.2.	Seznam použitých internetových zdrojů	65
5.3.	Seznam použitých odborných zdrojů	66
5.4.	Seznam obrázků	66
5.5.	Seznam tabulek	67
5.6.	Seznam grafů.....	68

Seznam použitých zkratk

B	obsah pojiva ve směsi zkušebního tělesa
CO	oxid uhelnatý
CO ₂	oxid uhličitý
ČNI	Český normalizační institut
ČR	Česká republika
D	průměr tělesa
H	výška tělesa
HDK	hrubé drcené kamenivo
ITS	pevnost v příčném tahu
ITS _d	průměr pevností suchých zkušebních těles
ITSR	poměru pevností v příčném tahu
ITS _w	průměr pevností mokrých zkušebních těles
K-K	kroužek - kulička
P	maximálního zatížení
pH	vodíkový exponent
PmB	Polymerem modifikovaný Asfalt
ρ_b	objemová hmotnost
ρ_B	objemová hmotnost pojiva
$\rho_{b,dim}$	objemová hmotnost podle rozměrů
ρ_{bssd}	objemová hmotnost - nasycený suchý povrch
RET	reaktivní elastomerní terpolymer (3 různé polymery)
ρ_m	maximální objemová hmotnost
R-materiál	recyklovaný materiál
ρ_{mw}	maximální obj. hmotnosti
ρ_w	objemová hmotnost vody
S, I, II	kategorie komunikace
SBS	styren-butadien-styren
SSD	Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch
t	teplota
TDZ	třída dopravního zatížení
TPA	Technický Zkušební Institut
ÚNMZ	Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví
VFB	stupeň vyplnění mezer
VJM 7	velmi jemně mletý vápenec
V _m	mezerovitost
VMA	Mezerovitost směsi kameniva
V _p	objem pyknometru při naplnění k referenční značce na nástavci
V _t	objem tělesa

1. Úvod

Cílem diplomové práce bylo porovnání různých adhezivních přísad a posouzení jejich vlivu na odolnost asfaltové směsi vůči účinkům vody. Adhezivní přísady byly dodány firmou ENVIRON, která dodává na trh přísadu AD-2. Tato přísada je na bázi polykondenzovaných aminů. Firma ENVIRON se snaží v současné době prosadit na trhu s novými přísadami na bázi nanotechnologií, které budou mít lepší účinnost z hlediska přilnavosti.

Diplomová práce má za úkol přispět k procesu ověřování těchto nových přísad v praxi. Hlavním úkolem bylo porovnat jednotlivé adhezivní přísady při jejich různém dávkování a při použití rozdílných asfaltových pojiv a porovnat je z hlediska jejich vlivu na přilnavost asfaltového pojiva ke kamenivu.

Konkrétně bylo použito kamenivo z lomu Skuteč – Litická pro směs ACL 16+ pro obalovnu Týniště nad Orlicí.

Další porovnávanou přísadou je ADDIBIT L300N od firmy Evonik Nutrition & Care GmbH, která je již v praxi používána.

Vyhodnocení přilnavosti bylo provedeno na základě subjektivního vyhodnocování.

Zkouška odolnosti vůči vodě zahrnuje vytvoření několika Marshallových těles a jejich následné zkoušení podle normových postupů. Poté je provedeno vyhodnocení podle normy.

2. Odborná rešerše

2.1. Obecná teorie

2.1.1. Přílnavost

Přílnavost, jinými slovy adheze, je schopnost materiálů přilnout k sobě. Jedná se především o dva rozdílné materiály. Z fyzikálního hlediska je to schopnost přenosu tečných sil při styku dvou povrchů, a to bez zřetelného pohybu. Můžeme ji též definovat z odborného chemického hlediska.

Existuje pět základních druhů přílnavosti (adheze). Mechanická, tzv. suchý zip, chemická, což je sloučenina dvou materiálů, disperzní, tzv. Van der Waalsova síla, difuzní – polymery a elektrostatická.

Z hlediska asfaltu se jedná o odolnost povlaku na povrchu zrn kameniva proti jeho odpuzení vodou.

2.1.2. Odolnost zkušebních těles vůči vodě

Jedná se o stanovení poměru pevností v příčném tahu (ITSR) na Marshallových tělesech. Zjišťuje se průměr pevností mokrých zkušebních těles (ITS_w), kterým se následně vydělí průměr pevností suchých zkušebních těles (ITS_d).

$$ITSR = 100 \cdot \frac{ITS_w}{ITS_d} \quad (1)$$

2.1.3. Maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost, mezerovitost

Maximální objemová hmotnost je hmotnost daného tělesa, která přísluší jednotce objemu asfaltové směsi bez započítání mezer.

Objemová hmotnost je opět hmotnost tělesa. Tato hmotnost ovšem přísluší jednotce objemu zkušebního tělesa včetně mezer.

Mezerovitost značí objem mezer v daném zkušebním tělese. Jedná se o procentuální vyjádření mezer z celkového objemu daného zkušebního tělesa.

2.2. Normy pro účel DP

2.2.1. ČSN 73 6161

Tato norma pojednává o přilnavosti pojiv ke kamenivu. Její oficiální název zní: Stanovení přilnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu [1]. V této normě je popsán postup zkoušky, příprava zkoušky, postup a vyhodnocení přilnavosti.

Pro postup zkoušky jsou používány dvě metody. V této diplomové práci bylo postupováno podle metody zkoušení se suchým kamenivem. Pro tento postup je uvedena tabulka pracovních teplot č. 1, která se nachází v této normě. Je rozdělena na několik druhů pojiva. Pro každý druh pojiva je zde stanovena teplota asfaltového pojiva, kameniva a obnažovací vody, rovněž je v této tabulce uvedena i hmotnost asfaltového pojiva (kromě emulzí tato hmotnost většinou činí $12 \pm 0,3\text{g}$). Druhou metodou je postup s vlhkým kamenivem. Tato metoda nebyla v mé práci použita.

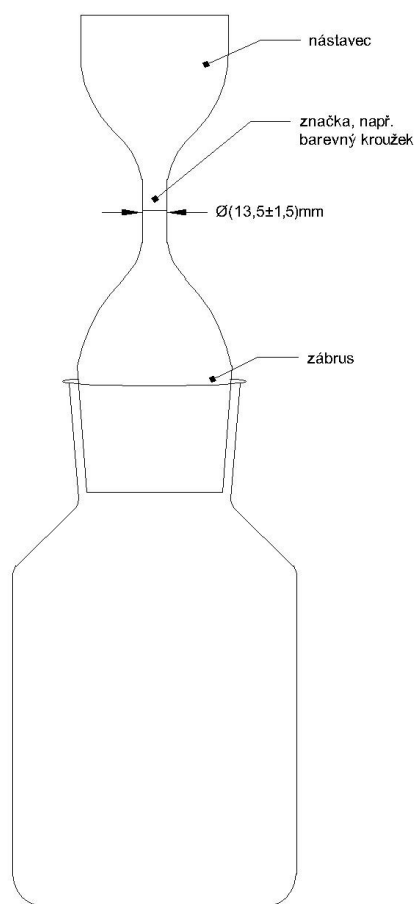
K vyhodnocení zkoušky slouží tabulka č. 2 této normy, v níž jsou obrázky s určitou částí obaleného kameniva s popisem, procentuálním vyjádřením a charakteristikou asfaltového spojení se zrnem kameniva (A-G).

Po ukončení zkoušky je vyhotoven protokol o zkoušce, který obsahuje identifikaci vzorků, datum, čas, místo, postupy atd.

2.2.2. ČSN EN 12697-5

ČSN EN 12697 je řada evropských norem, které se zabývají ve svých částech asfaltovými směsmi a jejich zkoušením. Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka jsou rozděleny do 51 částí. Tyto části evropské normy jsou rozdělením jedné české normy ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí, která je od roku 2008 stále v platnosti.

V 5. části evropské normy se stanovuje maximální objemová hmotnost [2]. K této zkoušce je zapotřebí pyknometr, do kterého se vsype připravená směs asfaltu s kamenivem a přísadou, pokud je použita. Dalšími pomůckami jsou destilovaná voda, teploměr, váhy, vodní lázeň a jiné (viz norma).



2.1. Pyknometr s nástavcem

Pro postup zkoušky a její vyhodnocení se dá postupovat pomocí tří metod. V této práci je postupováno podle metody A: Volumetrický postup. Výsledek se vypočítá pomocí rovnice pro výpočet hustoty vody v Mg/m^3 se zaokrouhlením na $0,0001 \text{ Mg/m}^3$:

$$\rho_w = 1,00016584 + \left(\frac{7,93 \cdot t - 5,29 \cdot t^2}{1000000} \right) \quad (2)$$

Vypočtená hodnota se doplní do následujícího vzorce pro výpočet maximální obj. hmotnosti v Mg/m^3 s přesností na 1 tisícinu Mg/m^3 :

$$\rho_{mw} = \frac{m_2 - m_1}{10^6 \cdot V_p - (m_3 - m_2)/\rho_w} \quad (3)$$

V_p je objem pyknometru při jeho naplnění až k referenční značce na nástavci udaný v m^3 . Dále jsou ve vzorci uvedeny tři hmotnosti: m_1 – hmotnost pyknometru s nástavcem, m_2 – hmotnost pyknometru s nástavcem a zkušebním vzorkem, m_3 – hmotnost pyknometru s nástavcem, zkušebním vzorkem a vodou. Všechny hmotnosti jsou uváděny v gramech.

2.2.3. ČSN EN 12697-6

V 6. části [3] se stanovuje objemová hmotnost tělesa a pro postup zkoušky a výpočet lze postupovat 4 různými způsoby.

V mé práci byl zvolen postup B: Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD).

Objemová hmotnost SSD je vypočítána v Mg/m^3 následujícím vzorcem a zaokrouhlena na 1 tisícinu Mg/m^3 :

$$\rho_{\text{bssd}} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot \rho_w \quad (4)$$

Hodnota m_1 je hmotnost zkušební tělesa, m_2 je hmotnost tělesa ve vodě, m_3 je hmotnost tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného. Hmotnosti jsou opět uvedeny v gramech.

ρ_w je hustota vody při zkušební teplotě v Mg/m^3 stanovená v této normě ze vzorce, který je jiný než v 5. části normy. Tento vzorec vypadá následovně a je zaokrouhlen na 0,0001 Mg/m^3 :

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 \cdot t - 5,32 \cdot t^2}{1000000} \right) \quad (5)$$

Dále byl použit postup D: Objemová hmotnost podle rozměrů.

Zde byly vypočítány objemové hmotnosti těles. Tato tělesa byla následně zkoušena na odolnost vůči vodě. Pro výpočet se používá buď vzorec pro pravoúhlá zkušební tělesa, nebo vzorec pro válcová zkušební tělesa. V mém případě byla vytvořena válcová tělesa a objemová hmotnost se počítala podle vzorce:

$$\rho_{\text{b,dim}} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \cdot H \cdot D^2} \cdot 10^3 \quad (6)$$

Počítá se s hmotností suchého tělesa (m_1) v gramech, jeho výškou a průměrem v milimetrech. Jednotkou objemové hmotnosti je opět Mg/m^3 s přesností 1 tisíciny Mg/m^3 .

2.2.4. ČSN EN 12697-8

Tato norma [4] se zabývá stanovením mezerovitosti (V_m). Pro výpočet je použita maximální obj. hmotnost vypočítaná podle části č. 5 a objemová hmotnost pomocí části č.

6. Mezerovitost se udávána v procentech a zaokrouhlena na jedno desetinné místo podle vzorce:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100 \quad (7)$$

Index m značí maximální objemovou hmotnost a index b pouze objemovou hmotnost. Vše je uváděno v jednotkách kg/m^3 .

Dále se tato norma zabývá stanovením stupně vyplnění mezer ve směsi kameniva pojivem. Tato hodnota je stanovena v procentech. Vzorec počítá s přesností na 1 desetinné místo:

$$\text{VFB} = \left(\frac{B \cdot \frac{\rho_b}{\rho_B}}{\text{VMA}} \right) \cdot 100 \quad (8)$$

Hodnota B udává obsah pojiva ve zkušebním tělese v procentech, ρ_b je objemová hmotnost tělesa v kg/m^3 , ρ_B je objemová hmotnost pojiva v kg/m^3 . VMA je mezerovitost směsi kameniva v procentech na 1 desetinné místo a počítá se podle vzorce:

$$\text{VMA} = V_m + B \cdot \rho_b / \rho_B \quad (9)$$

Objemová hmotnost asfaltového pojiva je 1020 kg/m^3 (dle normy ČSN EN 13108-1).

2.2.5. ČSN EN 12697-12

Jedná se o část normové řady [6] zabývající se stanovením odolnosti vůči vodě na zkušebních tělesech, kterou lze udělat třemi různými metodami. V této práci byla zvolena metoda A, která vyžaduje sadu šesti válcových těles. U těchto těles je určen objem a objemová hmotnost pomocí postupu D z 6. části této normové řady.

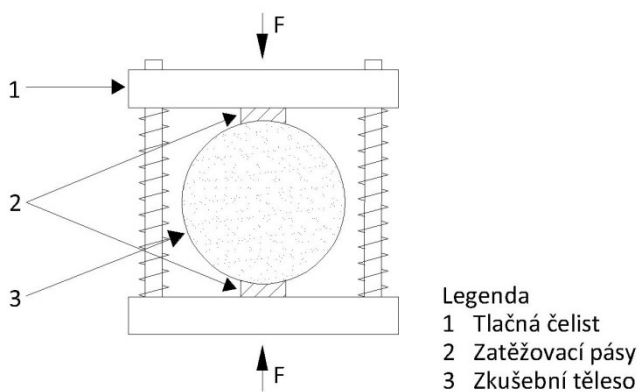
Tělesa jsou rozdělena podle objemové hmotnosti na suchá a mokrá a po třech dnech vyzkoušena v lisu, kde je zjištěno jejich maximální zatížení P v Newtonech. Podrobnější popis postupu je uveden v kapitole 3.5.

2.2.6. ČSN EN 12697-23

Ve 23. části normové řady [7] se vypočítává pevnost v příčném tahu na základě maximálního zatížení P v Newtonech, výšky H a průměru D zkušebního tělesa. Rozměry tělesa jsou v milimetrech. Pevnost v příčném tahu se vypočítá podle vzorce:

$$ITS = \frac{2 \cdot P}{D \cdot H \cdot \pi} \quad (10)$$

Vypočítají se jednotlivé pevnosti v příčném tahu pro každé těleso ze suché a mokré sady. V každé sadě je pak stanoven průměr hodnoty pevnosti v příčném tahu. Na základě vypočtených hodnot je stanoven poměr těchto dvou průměrů podle vzorce (1) v normě ČSN EN 12697-12.



2.2. Lis na stanovení pevnosti v příčném tahu

2.3. Související a doplňující normy

2.3.1. ČSN EN 12697-11

Tato normová část [5] se zabývá stanovením afinity mezi kamenivem a pojivem. Afinita se zjišťuje na frakci 8/11,2 mm nebo 6,3/10 mm. Tato frakce je pak smíchána s asfaltem.

Pro následné zkoušení afinity lze postupovat třemi možnými metodami: metoda rotující láhve, statická metoda a metoda ztráty přilnavosti ve vroucí vodě.

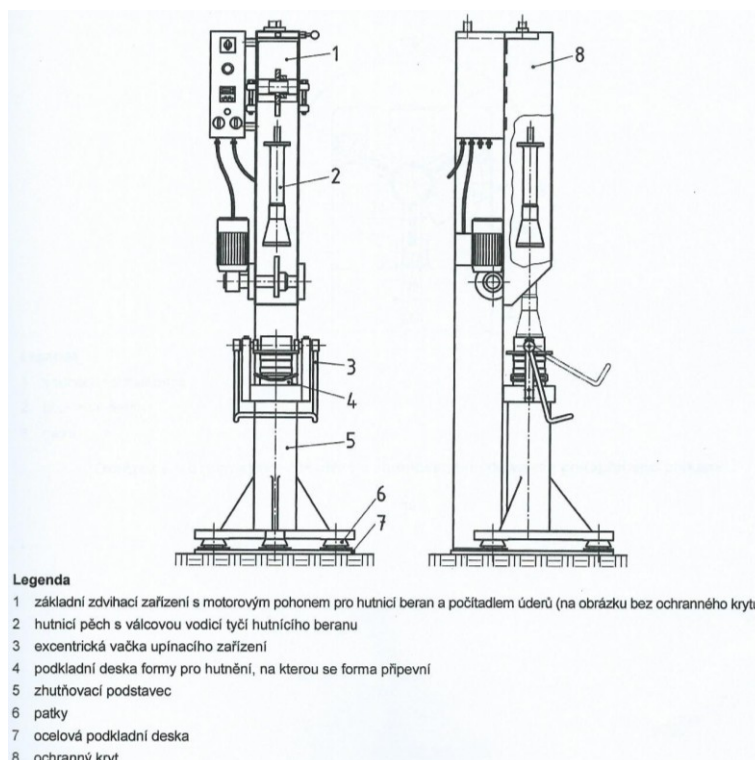
V diplomové práci se však afinita pojiva s kamenivem nestanovovala, jelikož nebyla součástí jejího zadání.

2.3.2. ČSN EN 12697-29

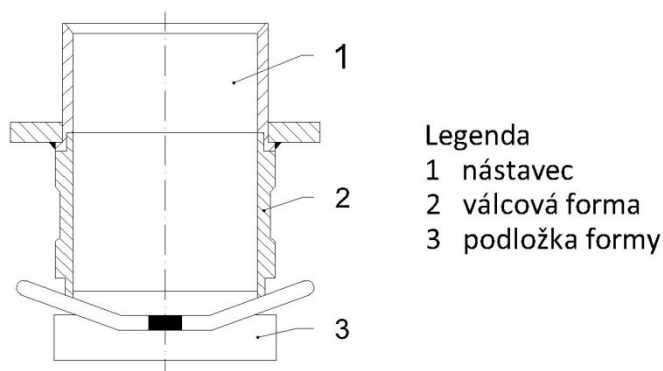
Jedná se o část normové řady [8], ve které se stanovují rozměry těles. Tato část je jen velmi krátká a obsahuje popis, jak postupovat při měření výšek a průměrů válcových těles a měření rozměrů pravoúhlých a nepravoúhlých těles.

2.3.3. ČSN EN 12697-30

V této normě [9] se popisuje výroba těles za pomoci rázového zhutňovače. Je zde schematický obrázek s popisem rázového zhutňovače a další obrázky znázorňující detailněji jejich části. Jedná se například o hutnicí beran pěchu, bicí hlavu hutnicího pěchu a další části rázového zhutňovače. Norma také obsahuje nákres a rozměry typické formy pro rázový zhutňovač. Tato forma se skládá z nástavce, válcové formy a podložky.



2.3. Schematický náčrt rázového zhutňovače [9]



2.4. Typická forma pro rázový zhutňovač s ocelovou deskou

2.3.4. ČSN EN 12697-35

Ve 35. normové části [10] je uveden postup pro laboratorní výrobu směsi. Jedná se především o stanovení teploty míchání, přípravy kameniva a fileru (jemné částice), přípravy pojiva a doby míchání celé směsi. Směs je také možno připravit z recyklovaného materiálu z vybourané vozovky (dále jen R-materiál).

Vzhledem k teplotě je v normě ČSN EN 12697-35 zpracována tabulka č. 1 pro různé druhy silničního pojiva (asfaltu), která určuje teplotu zpracování směsi za horka. Tato práce využívá vzorky směsi s asfaltem 50/70, pro níž je stanovena teplota míchání 150°C.

Dále jsou v normě v tabulce č. 2 uvedeny maximální doby míchání podle druhu směsi a použitého pojiva. Pokud se jedná o mechanické míchání v laboratorní míchačce, doba míchání je od 3 do 5 minut. Bude-li se směs míchat ručně, je doba míchání bez R-materiálu maximálně 5 minut. Pro ostatní směsi se ruční míchání provádí podle potřeby.

2.3.5. ČSN EN 13108-1

V této normě [11] jsou specifikovány požadavky pro směsi z asfaltového betonu, které se používají pro vozovky a další pojížděné plochy.

V normě v tabulce NA-E.5.2 jsou specifikovány požadavky na směsi ložných vrstev. V diplomové práci byla vytvořena směs ACL 16+, která je v této tabulce zaznamenána a jsou zde pro ni specifikované požadavky.

V poznámkách tabulky je uvedený i vzorec pro minimální obsah rozpustného pojiva v procentech objemu:

$$B_{vol} = \rho_b \cdot B / \rho_B \quad (11)$$

2.3.6. ČSN EN 13108-20

V této normě [12] je stanoven postup zkoušek, jež mají být použity k posouzení a ověření vlastností asfaltových směsí pro vozovky a další pojížděné plochy.

V tabulce B. 1 v normě jsou obsaženy typy a počty zkoušek pro asfaltové betony. Jsou v ní uvedené vlastnosti asfaltových směsí a zkušební postupy. Ve zkušebních postupech jsou uvedené normy, podle kterých se daná vlastnost stanovuje.

3. Praktická část DP

3.1. Popis surovin

3.1.1. Kamenivo pro přilnavost

Přilnavost pojiva ke kamenivu se dle normy obvykle zkouší na frakci 8/16. V tomto případě byla k dispozici pouze frakce 8/11, kterou byla použita pro posouzení přilnavosti. Kamenivo pochází z lomu Skuteč-Litická z Pardubického kraje, kde se těží v šesti provozech. Jsou to Chvaletice, Budislav, Skuteč (provozovny Litická a Humperky), Žumberk a Zderaz. Toto kamenivo bylo odebráno dne 8. 11. 2017 v 9:00 ze skládky obalovny v Budislavi. Veškeré kamenivo splňuje současná a nejpřísnější kritéria kvality, která jsou uvedena v normách ČSN EN. [15]

Hlavním typem horniny těžené v lomu Chvaletice jsou středně zrnité biotitické žuly. V Budislavském lomu je ložisko, které tvoří převážně křemenný diorit. Kámen těžený v lomu Skuteč - Litická je zejména amfibolicko-biotitický granodiorit. V Žumberku se dobývá biotiticko-amfibolická žula žumberského typu. Ložisko Skuteč-Humperky je bohaté zejména na tmavě šedé jemnozrné rohovce. V lomu Zderaz se nachází muskoviticko-biotitická žula. Výroba žulových kostek a rigolového kamene se ovšem provádí v lomu Litická ve Skutči.



3.1. Nádobna na skladování vzorku

3.1.2. Kamenivo pro směsi

Pro výrobu směsi se použilo několik druhů frakce z různých lomů. Především kamenivo Skuteč-Litická ve frakcích 0/4 a 4/8 v celkovém množství 47% z celkové hmotnosti kameniva. Frakce 0/4 tvoří 30% a frakce 4/8 tvoří 17% z celkové navážky kameniva.

Dále je použita frakce 8/16 v 40% zastoupení, která pochází ze sesterského lomu Budislav.

Byl použit i písek z kamenolomu Lípa, frakce 0/4 v 10% zastoupení. Tento lom se nachází ve východních Čechách v Královéhradeckém kraji v okrese Rychnov nad Kněžnou. Těží se zde šterkopísky frakce 0/4 a 22/63 tříděné za sucha. Frakci 0/4 lze využít do betonu, asfaltových směsí, nestmelených směsí, do směsí stmelených hydraulickými pojivy a do malt. [22]

Poslední použitou složkou je velmi jemně mletý vápenec (VJM 7) z vápenky Vitošov s 3% zastoupením. Tato vápenka se nachází na Severní Moravě v Olomouckém kraji v okrese Šumperk. Jedná se o jednu ze tří největších vápenek v ČR. Vyrábí se zde filer, který se používá do betonu. Dále pak kamenivo a filer pro použití do asfaltových směsí. [21]

Kromě kameniva, které tvoří celkem 95,4% celé směsi, je zde i asfalt a případné přísady, které jsou v celkovém zastoupení 4,6%. Směs kameniva a asfaltu tedy tvoří celkem 100%. Tuto skutečnost lze ověřit jednoduchou trojčlenkou.

3.1.3. Asfalty

4 druhy asfaltu:

Krakovaný 50/70

Krakovaný modifikovaný 45/80-75

Bezkrakový 50/70

Bezkrakový modifikovaný PmB 45/80-65



3.2. Nádoba na asfalt

3.1.3.1. Označování

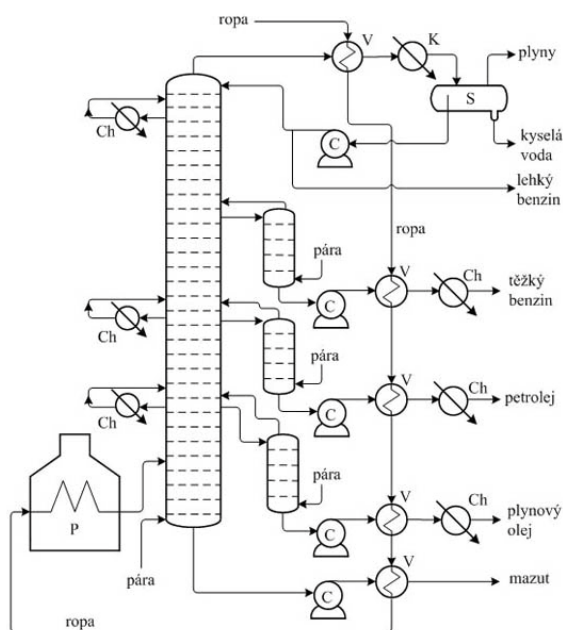
U normálních asfaltů se používá označení například 50/70. Číslo označuje hloubku penetrace. Jde o měření hloubky proniknutí jehly penetrometru do zkoušeného vzorku. Výsledek se uvádí v desetinách milimetru. Tato zkouška vychází z ČSN EN 1426.

U modifikovaných asfaltů se používá označení například 45/80-65. Číslem, které se nachází za pomlčkou, se označuje zkouška K-K, jež stanovuje bod měknutí. Jde o teplotu ve °C, při níž asfalt změkne. Výsledek se udává jako průměr teplot z obou stanovení s přesností na 0,5°C. Tato zkouška vychází z ČSN EN 1427. [17]

3.1.3.2. Krakování

Krakování je tepelný rozklad vyšších uhlovodíků na nižší uhlovodíky. Při tomto procesu dochází k chemickým změnám, jež nejsou dokonale vysvětleny. Je však zjištěno, že při vyšších teplotách a vyšším tlaku se těžší uhlovodíky rozkládají na lehčí uhlovodíky mnohem rychleji.

Zařízení na krakování butanu se skládá ze dvou trubkových pecí. Z první pece vchází zahřátá surovina do reakční komory a dále se přes redukční ventil a děliče dopraví až do rektifikační kolony. Zde se následně oddělí plyn a benzín. Zbytek surovin jde přes druhou pec a vrací se do reakční komory. Odtud se po vyloučení krakového zbytku přechází zpět do rektifikační kolony. Surovina přes krakovací zařízení cirkuluje. [13]



Typické schéma atmosférické destilace ropy
(C - čerpadlo, S - separátor, K - kondenzátor,
P - trubková pec, V - výměník tepla, Ch - chladič)

3.3. Schéma atmosférické destilace ropy [16]

3.1.3.3. Modifikace

Fyzikální a mechanické vlastnosti modifikovaného asfaltu se upravují pomocí přidání polymeru do asfaltu. Tyto asfalty jsou za normálních teplot polotuhé až tuhé homogenní hmoty. Není v nich voda ani mechanické nečistoty. Při porovnání běžného a modifikovaného asfaltu má modifikovaný asfalt lepší odolnost proti tvorbě trvalých deformací. Má výrazně lepší únavové vlastnosti a díky tomu i 2 – 2,5 krát větší trvanlivost. Tyto asfalty mají lepší přilnavost ke kamenivu a dobrou odolnost proti vytváření mrazových trhlin. Základní asfalt určený pro modifikaci je velmi důležitý a musí být optimálně kompatibilní s polymery, které se do něj přidávají. [14]

Modifikace je prováděna na bázi termoplastického kaučuku SBS – typ Standard. Postupně se díky vývoji přešlo na chemickou modifikaci za pomoci RET – typ Extra.

3.1.4. Přísady

4 druhy přísad:

Na bázi nanotechnologie: ADHESIL Z, BITUSIL

Na bázi nanotechnologie: ADHESIL Z - 2, BITUSIL – 2 (později dodané a vylepšené vzorky)

Na bázi polykondenzovaných aminů: AD-2

Na bázi polyaminů mastných kyselin: ADDIBIT L300

3.1.4.1. ADHESIL Z, BITUSIL

Jedná se o moderní silanové přísady. Tyto přísady by měla vytvářet silnou chemickou vazbu s povrchem kameniva a zajistit dokonalé obalení kameniva asfaltovým pojivem. Přísady by měly mít také vysokou odolnost proti vlhkosti.

Přísady jsou viskózní kapalina temně hnědé až černé barvy s charakteristickým ropným zápachem. Jejich pH zatím není známo. Přísady jsou rozpustné v běžně používaných rozpouštědlech.

Pro přísadu ADHESIL Z je bod tání/tuhnutí -18°C , bod vzplanutí je 110°C . Relativní hustota při 40°C je <900 . Viskozita při 100°C je $4,762 \text{ mm}^2/\text{s}$. Hustota při 15°C je 950 kg/m^3 . [24]

Pro přísadu BITUSIL je bod tání/tuhnutí -45°C , bod vzplanutí je $135,5^{\circ}\text{C}$. Relativní hustota při 15°C je 886,5. Viskozita při 40°C je $93\text{ mm}^2/\text{s}$. Hustota při 15°C je $886,5\text{ kg}/\text{m}^3$. [25]

Při hoření bez dostatku vzduchu se může uvolňovat oxid uhelnatý. Nedokonalým spalováním vzniká kouř a toxické plyny (např. CO a CO_2). Je zdraví škodlivý při vdechování a může vyvolat rakovinu. Při opakovaném vystavování se toxicitě v přísadě může způsobit poškození orgánů a vysušení či popraskání kůže.

3.1.4.2. ADHESIL Z - 2, BITUSIL - 2

Jedná se o vylepšení přísad ADHESIL Z a BITUSIL. Toto vylepšení se týká lepší tekutosti pro účely lepšího dávkování a složení přísad, které mají mít v závěru lepší přilnavost.

3.1.4.3. AD-2

Tato přísada je na bázi polykondenzovaných aminů a má zvyšovat přilnavost ke kyselému kamenivu. Dlouhodobé zahřívání na 150 až 160°C vydrží beze změny aktivity.

Při 20°C je látka kapalná hnědé barvy. Má aminový zápach. Její pH je 11 v 5% roztoku při 20°C . Bod tání/tuhnutí je $> -20^{\circ}\text{C}$, vzplanutí $>218^{\circ}\text{C}$, počáteční bod varu a jeho rozmezí $>300^{\circ}\text{C}$. Teplota vznícení je $>100^{\circ}\text{C}$. Relativní hustota činí $980\text{ kg}/\text{m}^3$. Dynamická viskozita je cca $0,505\text{ Pa}\cdot\text{s}$ (20°C). [23]

Chemická stabilita a reaktivita jsou za normálních podmínek použití stabilní.

3.1.4.4. ADDIBIT L300

Jedná se o adhezní přísadu a tekuté smáčedlo, které je na bázi polyaminů mastných kyselin a zlepšuje přilnavost díky své nízké viskozitě.

Je to kapalná látka jantarové barvy na způsob aminu. Její pH je 9 při 20°C . Bod tání je $-10,5^{\circ}\text{C}$, bod varu $>160^{\circ}\text{C}$, bod vzplanutí $>100^{\circ}\text{C}$. Dynamická viskozita je asi $0,170\text{ Pa}\cdot\text{s}$, hustota je asi $0,9\text{ g}/\text{cm}^3$. [26]

Za normálních podmínek je chemicky stabilní a nehrozí žádné nebezpečné reakce při skladování a manipulaci, pokud se s ní bude zacházet podle předpisů.

3.2. Přílnavost

Pro tuto zkoušku slouží norma ČSN 73 6161 - Stanovení přílnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu s platností od května 2000.

Zkoušené bylo kamenivo Skuteč-Litická frakce HDK 8/11 se 4 druhy asfaltu – krakovaný 50/70, krakovaný modifikovaný 45/80-75, bezkrakový 50/70, bezkrakový modifikovaný PMB 45/80-65. U nemodifikovaných asfaltů byly použity i 4 různé přísady s 0,2% a 0,3% zastoupení tekuté složky (tzn. 0,2% nebo 0,3% z celkové hmotnosti asfaltu). Těmito přísadami byly ADHESIL Z, BITUSIL, AD-2 (tyto 3 přísady jsou od výrobce ENVIRON) a ADDIBIT L300. Později výrobce ENVIRON zaslal upravené přísady ADHESIL Z-2 a BITUSIL-2. S těmito upravenými přísadami byl odzkoušen pouze krakovaný asfalt 50/70 s 0,2% a 0,3% zastoupením tekuté složky.

S asfaltem bez modifikace bylo vytvořeno 9 vzorků. A to jak s krakovaným, tak i bezkrakovým. Použily se všechny 4 adhezivní přísady. Z 12 g asfaltu, jež tvořilo 100% pojiva, se do vzorků daly přísady, které měly zastoupení cca 0,3% (4 vzorky) a cca 0,2% (4 vzorky) z hmotnosti pojiva. Poslední 9. vzorek byl bez přísady s 12 g asfaltu. S modifikovanými asfalty byly vytvořeny pouze vzorky bez přísad.

Pro zkoušení se použily tyto pomůcky a zařízení: skleněná miska, porcelánová miska, porcelánová špachtle, dvě elektrické sušárny pro rozmezí teplot 40°C - 200°C, síta pro frakci 8/16, kovová plechovka na asfalt, lampička, vodní lázeň s termostatem na teplotu 60°C, voda, destilovaná voda, teploměry s rozsahem do 200°C, váha, stopky, rukavice, kamenná dlaždice pro postavení zahřáté misky na váhu, alobal na zahřáté misky a plechovky, papírky na otření asfaltu z plechovky.

Termíny zkoušení: 14. 12. 2017 – 18. 12. 2017 (krakovaný asfalt 50/70); 1. 2. 2018 – 5. 2. 2018 (bezkrakový asfalt 50/70 a modifikované asfalty); 9. 4. 2018 – 10. 4. 2018 (krakovaný asfalt 50/70 s přísadami ADHESIL Z-2 a BITUSIL-2).

3.2.1. Postup zkoušky

Kamenivo pod tekoucí vodou promyjeme a zbavíme největšího množství jemných částic. Následně jej po vysušení prosejeme na sítěch 8/16 a zbavíme ho podsítného a nadsítného. Nakonec se provede propláchnutí destilovanou vodou a vysuší se v sušárně o teplotě 105°C - 110°C až na ustálenou hmotnost.



3.4. Promývání destilovanou vodou

Do porcelánové misky se naváží 300 ± 3 g kameniva, jež bylo připraveno dle návodu výše. Kamenivo v misce i se špachtlí se vloží do sušárny. Asfaltové pojivo v kovové plechovce se vloží do druhé sušárny. Obě sušárny musí být předem vyhřáté. Přibližná doba ohřívání materiálu v sušárnách činí asi 30 minut. Avšak materiál musí mít příslušnou teplotu uvedenou v tabulce 1 v této normě.



3.5. Navážka kameniva v porcelánové misce

Mezitím při zahřívání materiálů se na váhu položí kamenná dlaždice, která slouží proti poškození a zničení váhy. Vedle váhy se připraví prostor pro přísady a horký asfalt. Nejlépe se zde umístí alobal na plechovku s asfaltem a papírky pro očištění plechovky a případného odstranění asfaltu ze vzorku kameniva v případě, že se nepovede nalít přesné množství.

Do porcelánové misky se zahřátým kamenivem se co nejrychleji naváží zahřátý asfalt o hmotnosti $12 \pm 0,3$ g. V případě použití přísady se hmotnost asfaltu změní dle procentuálního zastoupení přísady (což je 0,2% nebo 0,3% z hmotnosti asfaltu). Ihned potom se vše promíchá špachtlí až do vzniku lepidivé konzistence vzorku a úplného obalení všech zrn kameniva. Doba míchání je minimálně 4 minuty a nastaví se na stopkách.



3.6. Míchání kameniva s asfaltem

Takto obalené kamenivo se opatrně přemístí do skleněné misky a rovnoměrně rozprostře po jejím dně špachtlí tak, aby se obalená zrna co možná nejméně navzájem zakrývala a pokryla celé dno misky. Ve skleněné misce se vzorek ponechá nezakrytý minimálně 24 hodin za laboratorní teploty.



3.7. Vzorek ve skleněné misce

Po uplynutí minimálně 24 hodin se na obalené kamenivo nalije destilovaná voda, kterou nejprve zahřejeme na požadovanou teplotu $60 \pm 3^\circ\text{C}$ – obnažovací voda. Tato voda musí nejméně o 1 cm přesahovat kamenivo v misce. Následně se vzorek vloží do vodní lázně zahřáté taktéž na teplotu 60°C .



3.8. Vzorek ve vodní lázni

Vzorek se ve vodní lázni ponechá 60 minut. Pak se ve vodní lázni s pomocí lampičky vizuálně vyhodnocuje míra obalení kameniva asfaltovým pojivem. Pro toto vyhodnocení slouží tabulka 2 v této normě.










3.9. Vzorek po 60 minutách ve vodní lázni

Podle normy na přilnavost asfaltových pojiv ke kamenivu se na závěr zhodnotí přilnavost slovně. Podle slovního hodnocení se pak určí, zda se tyto vzorky použijí a do kterých vozovek.

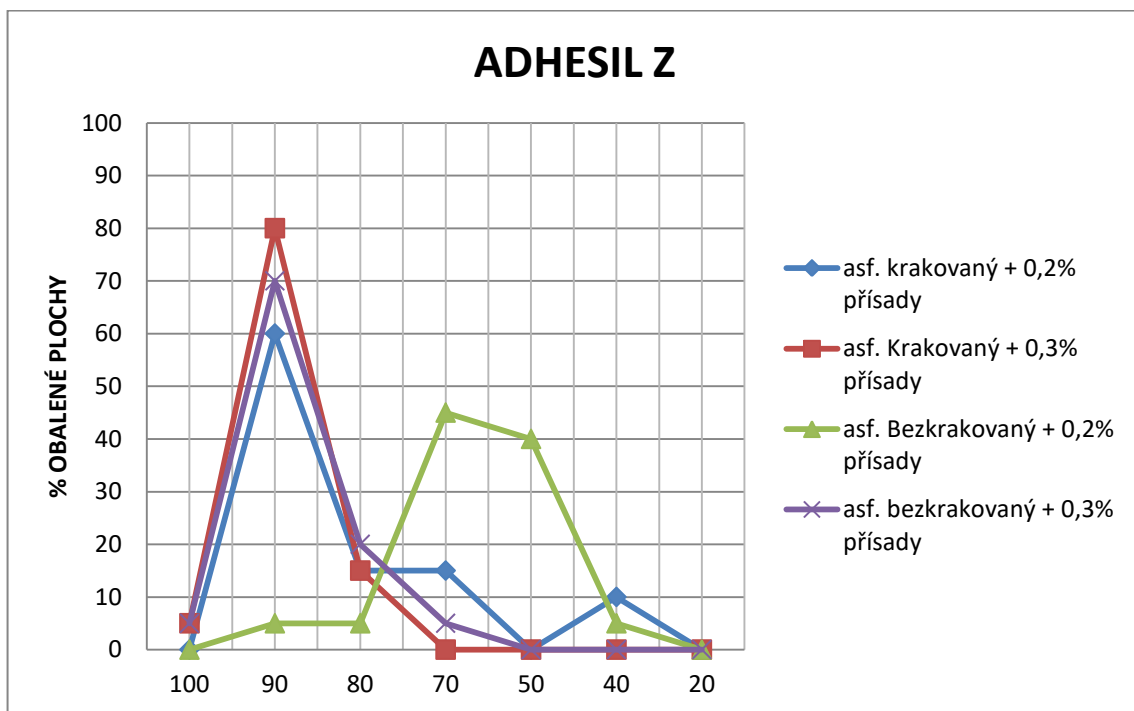
Pro vozovky s TDZ S, I a II musí být přilnavost dobrá, u ostatních TDZ musí být minimálně vyhovující.

3.2.2. Výsledky

ADHESIL Z








% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	0,2% přísady	0,3% přísady	0,2% přísady	0,3% přísady
		asfalt krakovaný 50/70		asfalt bezkrakový 50/70	
100		0	5	0	5
90		60	80	5	70
80		15	15	5	20
70		15	0	45	5
50		0	0	40	0
40		10	0	5	0
20		0	0	0	0
hodnocení		nevyhovující	dobrá	nevyhovující	dobrá

Tab. 1. Procenta obalení zrn pro ADHESIL Z

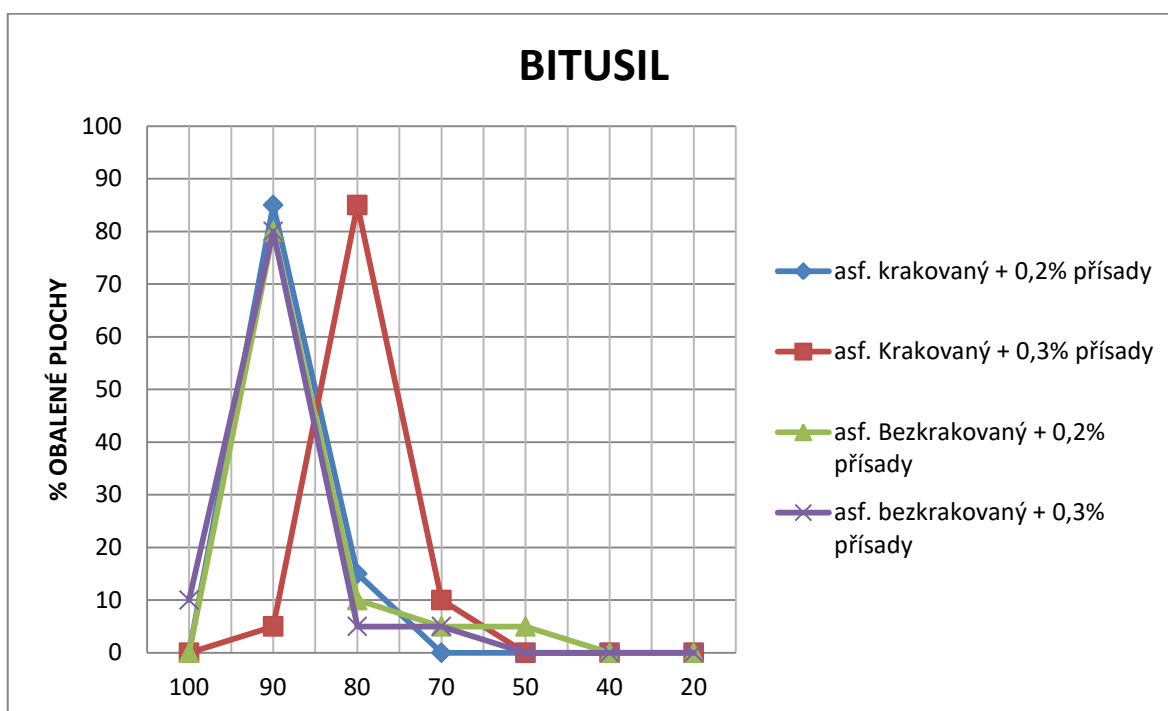


Graf 1. Grafické znázornění obalení zrn pro ADHESIL Z

BITUSIL








% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	0,2% přísady	0,3% přísady	0,2% přísady	0,3% přísady
		asfalt krakovaný 50/70		asfalt bezkrakový 50/70	
100		0	0	0	10
90		85	5	80	80
80		15	85	10	5
70		0	10	5	5
50		0	0	5	0
40		0	0	0	0
20		0	0	0	0
hodnocení		dobrá	vyhovující	dobrá	dobrá

Tab. 2. Procenta obalení zrn pro BITUSIL

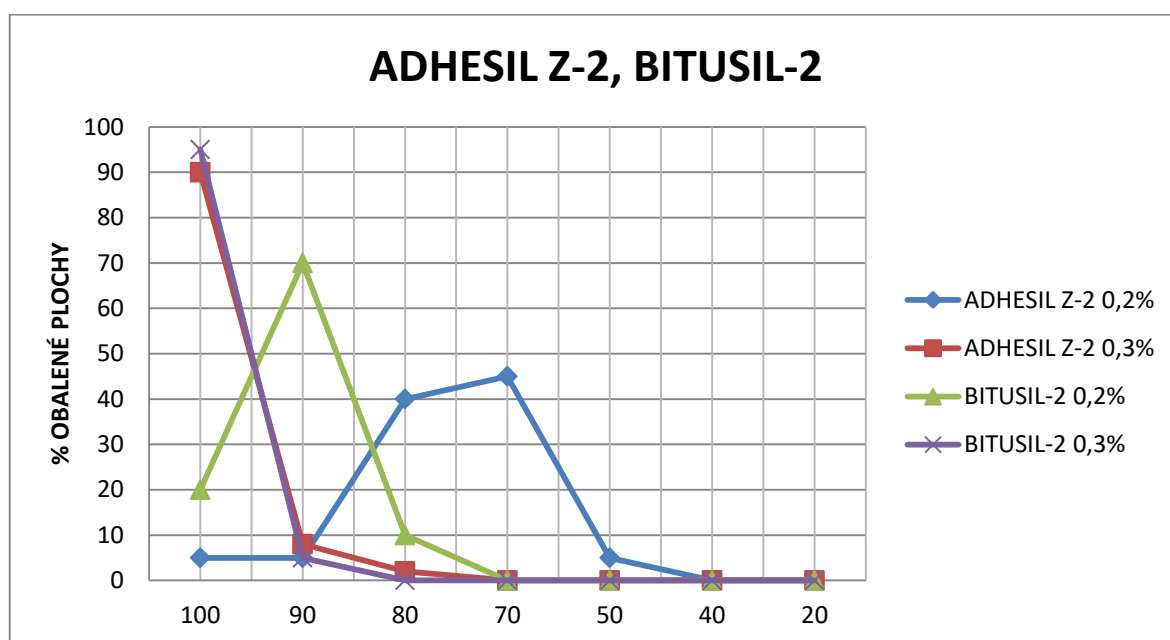


Graf 2. Grafické znázornění obalení zrn pro BITUSIL

ADHESIL Z-2, BITUSIL-2

% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	ADHESIL Z-2 0,2%	ADHESIL Z-2 0,3%	BITUSIL-2 0,2%	BITUSIL-2 0,3%
		asfalt krakovaný 50/70			
100		5	90	20	95
90		5	8	70	5
80		40	2	10	0
70		45	0	0	0
50		5	0	0	0
40		0	0	0	0
20		0	0	0	0
hodnocení		nevyhovující	výborná	dobrá	výborná

Tab. 3. Procenta obalení zrn pro ADHESIL Z - 2 a BITUSIL – 2

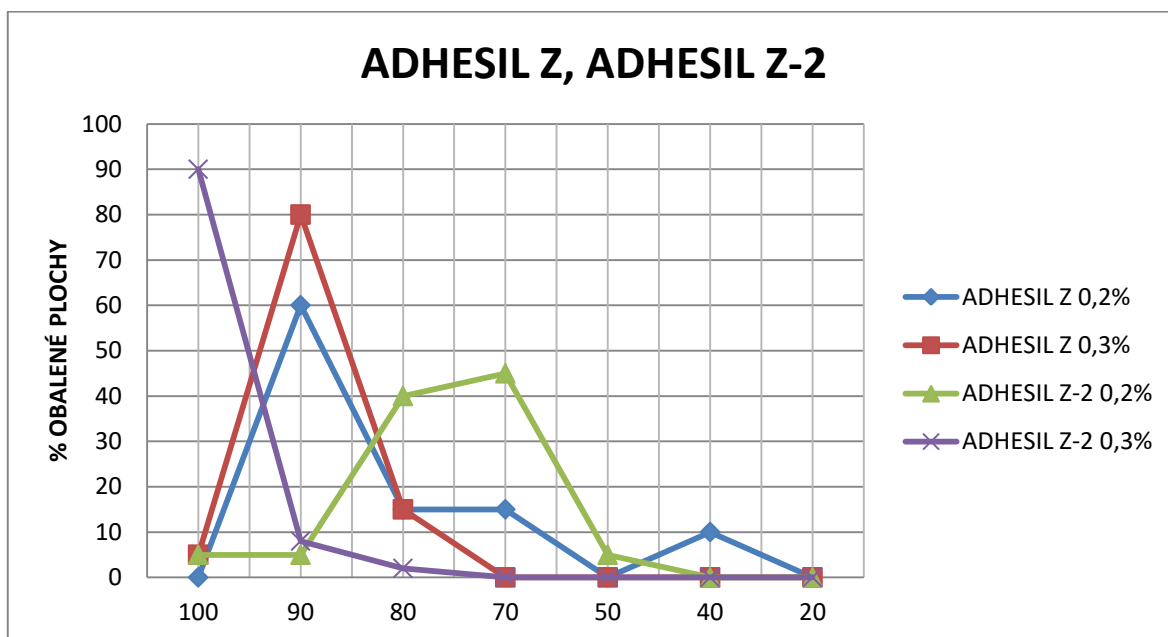


Graf 3. Grafické znázornění obalení zrn pro ADHESIL Z - 2 a BITUSIL - 2

Srovnání ADHESIL Z a ADHESIL Z-2








% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	ADHESIL Z 0,2%	ADHESIL Z 0,3%	ADHESIL Z-2 0,2%	ADHESIL Z-2 0,3%
		asfalt krakovaný 50/70			
100		0	5	5	90
90		60	80	5	8
80		15	15	40	2
70		15	0	45	0
50		0	0	5	0
40		10	0	0	0
20		0	0	0	0
hodnocení		nevyhovující	dobrá	nevyhovující	výborná

Tab. 4. Srovnání ADHESILu Z a ADHESILu Z - 2

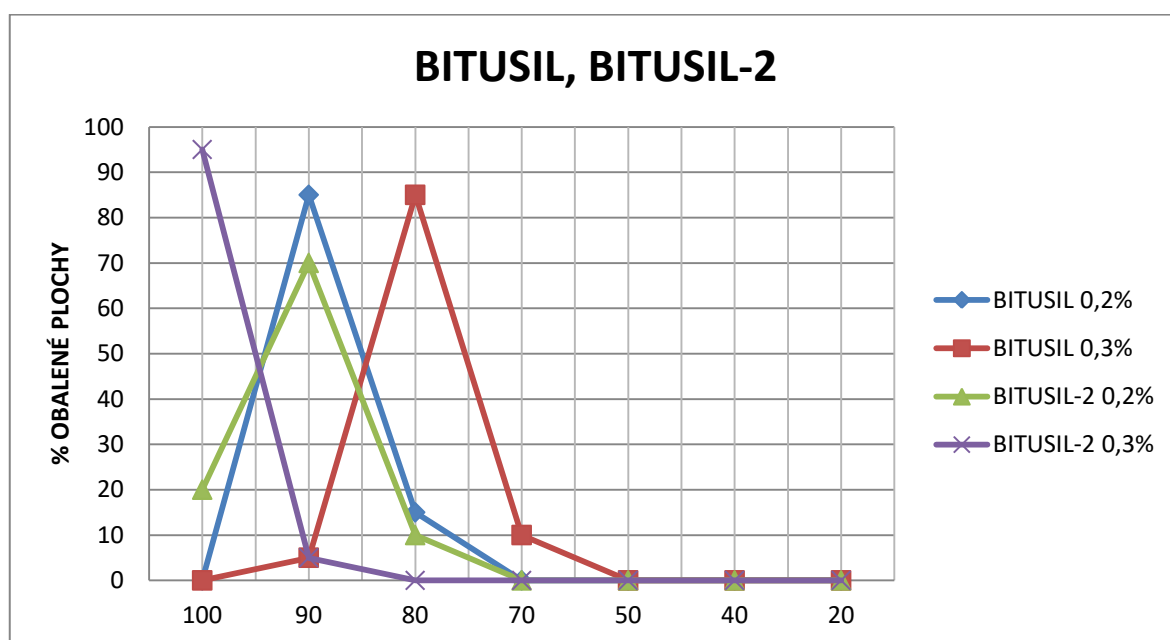


Graf 4. Grafické srovnání ADHESILu Z a ADHESILu Z - 2

Srovnání BITUSIL a BITUSIL-2








% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	BITUSIL 0,2%	BITUSIL 0,3%	BITUSIL-2 0,2%	BITUSIL-2 0,3%
		asfalt krakovaný 50/70			
100		0	0	20	95
90		85	5	70	5
80		15	85	10	0
70		0	10	0	0
50		0	0	0	0
40		0	0	0	0
20		0	0	0	0
hodnocení		dobrá	vyhovující	dobrá	výborná

Tab. 5. Srovnání BITUSILu Z a BITUSILu Z – 2

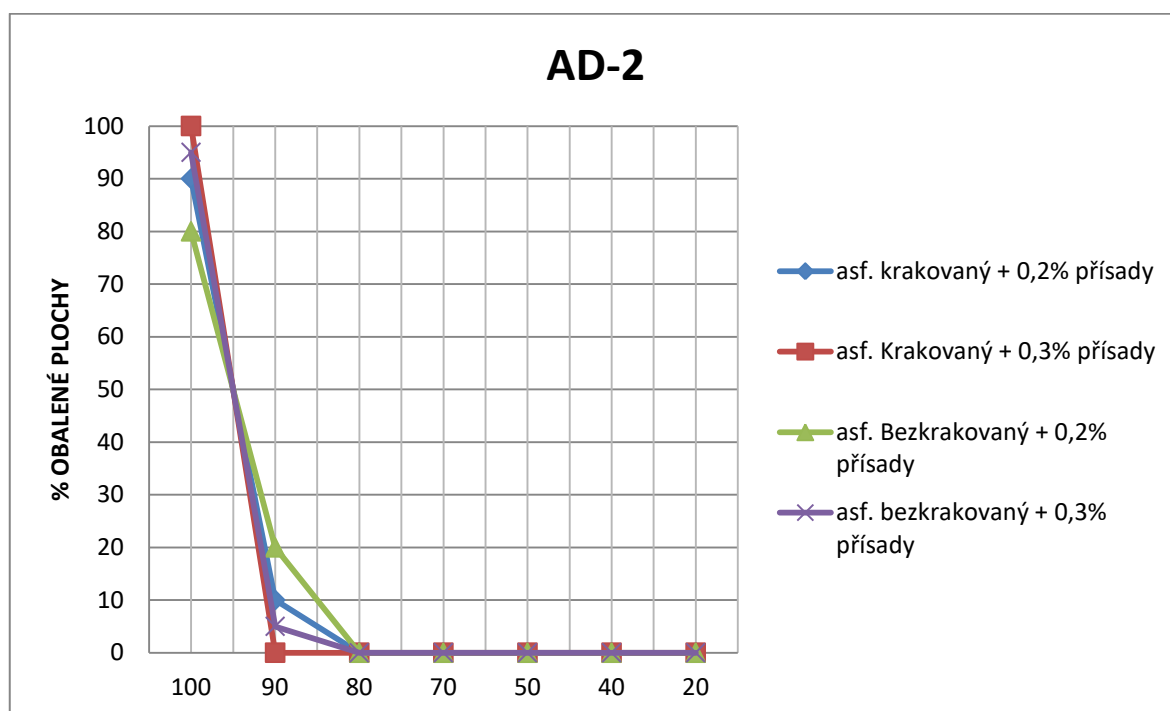


Graf 5. Grafické srovnání BITUSILu Z a BITUSILu Z – 2

AD-2








% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	0,2% přísady	0,3% přísady	0,2% přísady	0,3% přísady
		asfalt krakovaný 50/70		asfalt bezkrakový 50/70	
100		90	100	80	95
90		10	0	20	5
80		0	0	0	0
70		0	0	0	0
50		0	0	0	0
40		0	0	0	0
20		0	0	0	0
hodnocení		výborná	výborná	výborná	výborná

Tab. 6. Procenta obalení zrn pro AD-2

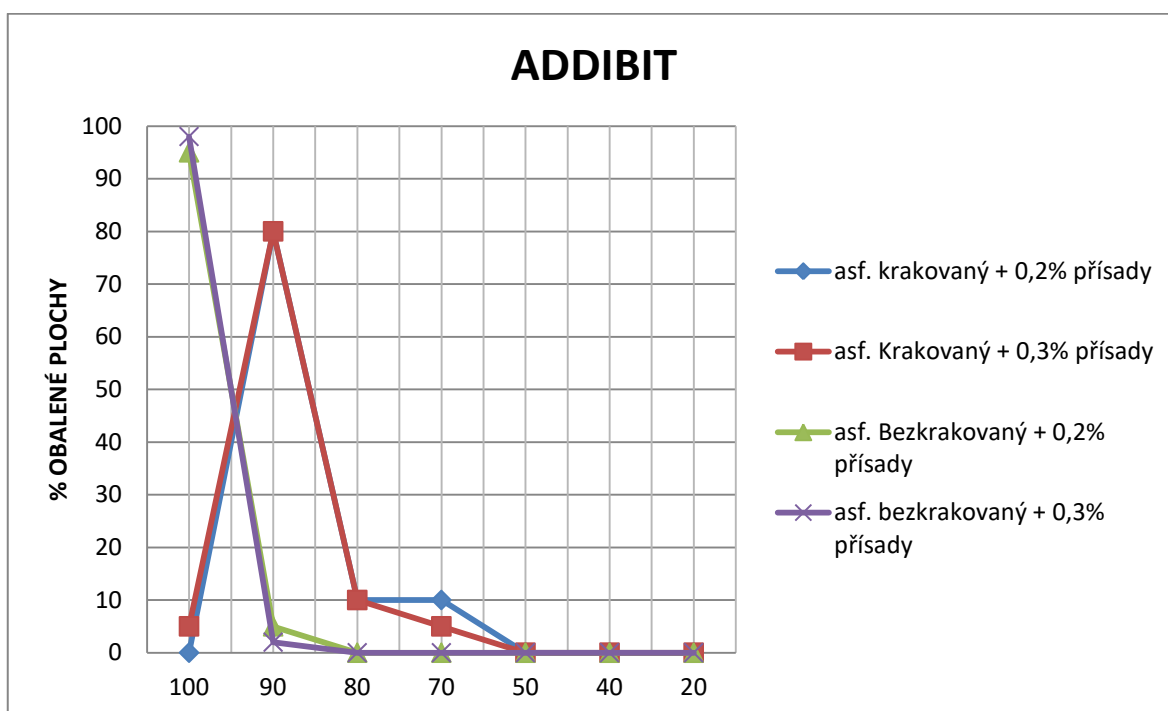


Graf 6. Grafické znázornění obalení zrn pro AD-2

ADDIBIT








% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	0,2% přísady	0,3% přísady	0,2% přísady	0,3% přísady
		asfalt krakovaný 50/70		asfalt bezkrakový 50/70	
100		0	5	95	98
90		80	80	5	2
80		10	10	0	0
70		10	5	0	0
50		0	0	0	0
40		0	0	0	0
20		0	0	0	0
hodnocení		dobrá	dobrá	výborná	výborná

Tab. 7. Procenta obalení zrn pro ADDIBIT

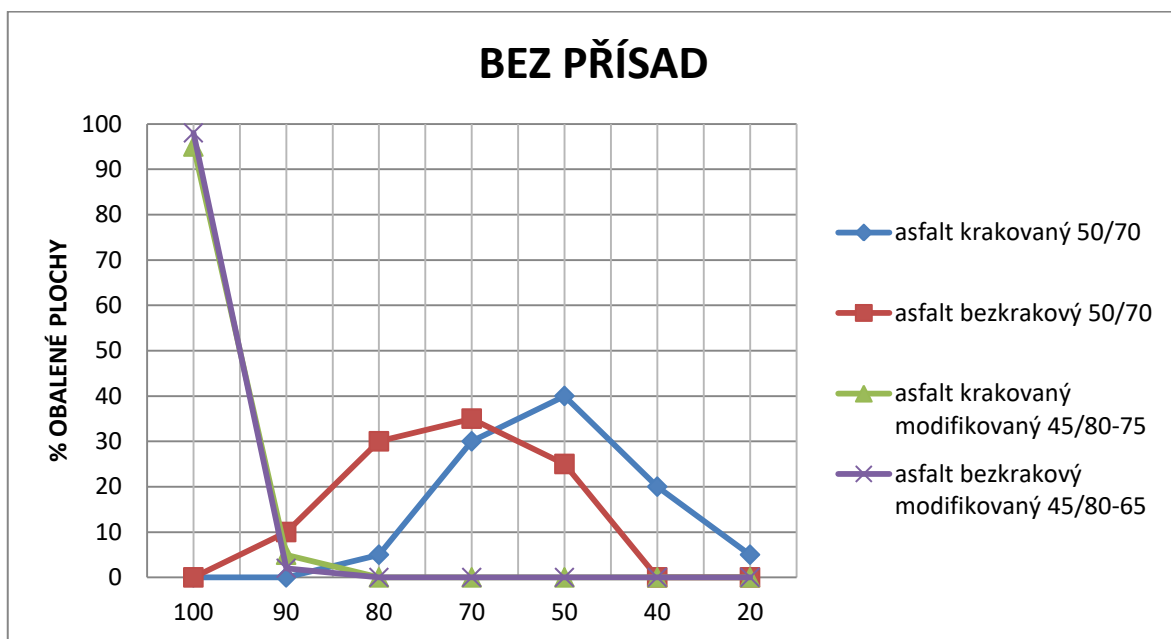


Graf 7. Grafické znázornění obalení zrn pro ADDIBIT

Vzorky bez přísad








% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	asfalt krakovaný 50/70	asfalt bezkrakový 50/70	asfalt krakovaný modifikovaný 45/80-75	asfalt bezkrakový modifikovaný 45/80-65
100		0	0	95	98
90		0	10	5	2
80		5	30	0	0
70		30	35	0	0
50		40	25	0	0
40		20	0	0	0
20		5	0	0	0
hodnocení		nevyhovující	nevyhovující	výborná	výborná

Tab. 8. Procenta obalení zrn pro vzorky BEZ PŘÍRAD

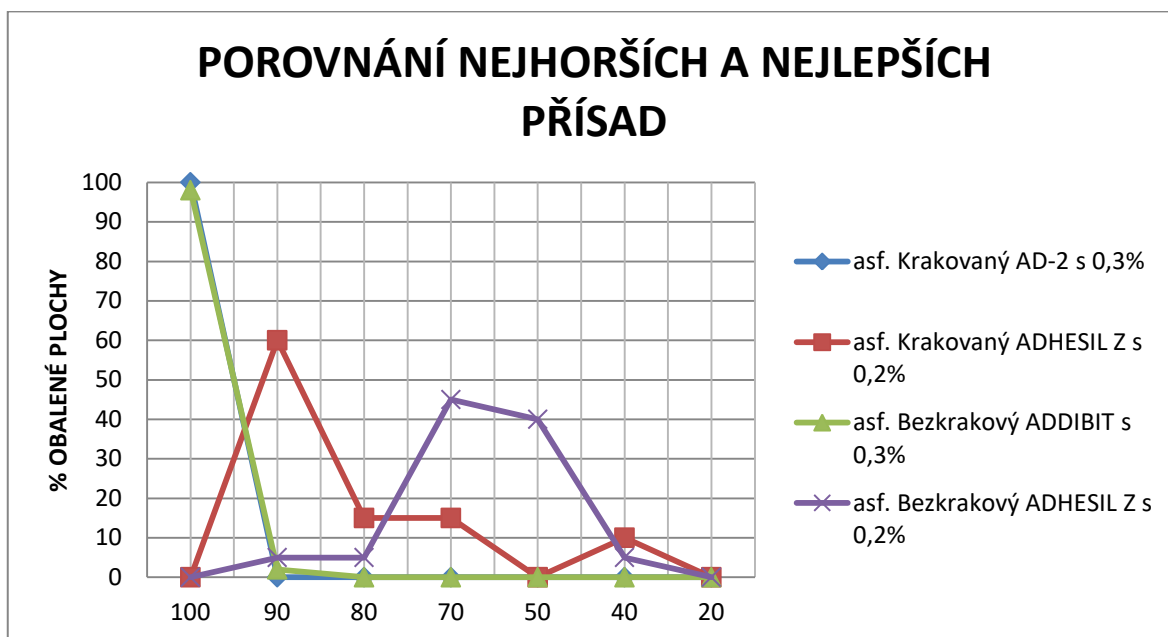


Graf 8. Grafické znázornění obalení zrn pro vzorky BEZ PŘÍRAD

3.2.3. Vyhodnocení výsledků

% obalené plochy	vzhled obaleného zrna	AD-2 s 0,3%	ADHESIL Z s 0,2%	ADDIBIT s 0,3%	ADHESIL Z s 0,2%
		asfalt krakovaný 50/70		asfalt bezkrakový 50/70	
100		100	0	98	0
90		0	60	2	5
80		0	15	0	5
70		0	15	0	45
50		0	0	0	40
40		0	10	0	5
20		0	0	0	0
hodnocení		výborná	nevyhovující	výborná	nevyhovující

Tab. 9. Přehled NEJLEPŠÍCH a NEJHORŠÍCH PŘÍRAD



Graf 9. Grafičké porovnání NEJLEPŠÍCH a NEJHORŠÍCH PŘÍRAD

HODNOCENÍ	PŘÍSADA	MNOŽSTVÍ	ASFALT
VÝBORNÁ	AD-2	0,3%	krakovaný 50/70
VÝBORNÁ	AD-2	0,2%	krakovaný 50/70
VÝBORNÁ	AD-2	0,2%	bezkrakový 50/70
VÝBORNÁ	AD-2	0,3%	bezkrakový 50/70
VÝBORNÁ	ADHESIL Z - 2	0,3%	krakovaný 50/70
VÝBORNÁ	BITUSIL - 2	0,3%	krakovaný 50/70
VÝBORNÁ	ADDIBIT	0,2%	bezkrakový 50/70
VÝBORNÁ	ADDIBIT	0,3%	bezkrakový 50/70
VÝBORNÁ	BEZ PŘÍRAD	-	krak. modif. 45/80-75
VÝBORNÁ	BEZ PŘÍRAD	-	bezkrak. modif. 45/80-65
DOBRÁ	ADHESIL Z	0,3%	krakovaný 50/70
DOBRÁ	ADHESIL Z	0,3%	bezkrakový 50/70
DOBRÁ	BITUSIL	0,2%	krakovaný 50/70
DOBRÁ	BITUSIL	0,2%	bezkrakový 50/70
DOBRÁ	BITUSIL	0,3%	bezkrakový 50/70
DOBRÁ	BITUSIL - 2	0,2%	krakovaný 50/70
DOBRÁ	ADDIBIT	0,2%	krakovaný 50/70
DOBRÁ	ADDIBIT	0,3%	krakovaný 50/70
VYHOVUJÍCÍ	BITUSIL	0,3%	krakovaný 50/70
NEVYHOVUJÍCÍ	ADHESIL Z - 2	0,2%	krakovaný 50/70
NEVYHOVUJÍCÍ	ADHESIL Z	0,2%	bezkrakový 50/70
NEVYHOVUJÍCÍ	BEZ PŘÍRAD	-	bezkrakový 50/70
NEVYHOVUJÍCÍ	ADHESIL Z	0,2%	krakovaný 50/70
NEVYHOVUJÍCÍ	BEZ PŘÍRAD	-	krakovaný 50/70

Tab. 10. Souhrnné hodnocení přilnavosti PODLE HODNOCENÍ

Podle výše uvedených grafů a tabulek je zřejmé, že pro krakovaný asfalt 50/70 je nejvhodnější přísadou pro zlepšení přilnavosti přísada AD-2 v množství 0,3% z hmotnosti asfaltu. Z výsledků dále vyplývá, že nejhorší výsledky přilnavosti vykazuje asfalt s adhezivní přísadou ADHESIL Z v množství 0,2% z hmotnosti asfaltu. Při použití samotného asfaltu bez přísady byla přilnavost ke kamenivu nevyhovující.

Pro vzorky s asfaltem bez krakování nejlépe vychází přísada ADDIBIT v množství 0,3% z hmotnosti asfaltu. Jako nejhorší se jeví přísada ADHESIL Z v

množství 0,2% z hmotnosti asfaltu. Vzorek bez přísady vyšel o něco lépe než vzorek s ADHESIL Z, viz tabulky.

Modifikované asfalty mají samy o sobě lepší schopnost obalení kameniva a tedy vyhovující výsledky přilnavosti i bez dalších přísad.

Druhé (později dodané) přísady ADHESIL Z a BITUSIL vykazují lepší výsledky přilnavosti a zároveň z důvodu jejich tekutější konzistence jsou pro dávkování vhodnější než jejich první verze. Podle výše uvedených grafů a tabulek vyplývá, že jsem tyto dvě vylepšené přísady zkoušela jen na krakovaném asfaltu 50/70. Toto variantní posouzení bylo provedeno nadstandardně na přání firmy ENVIRON, která adhezivní směsi vyrábí.

Pro stanovení zkoušky odolnosti proti vodě jsem používala pouze vzorky s krakovaným asfaltem 50/70. Připravila jsem vzorky s přísadami, které vykazovaly nejlepší a nejhorší výsledky přilnavosti. Pro porovnání jsem připravila vzorek s asfaltem bez adhezivní přísady. Výsledky této zkoušky jsou i s postupem, s použitými pomůckami a termíny zkoušek popsány v kapitole 3.5.

3.3. Výroba směsi a těles

K výrobě směsi a následných těles byl použit krakovaný asfalt 50/70. Vyrobyly se směsi a tělesa s použitím tohoto asfaltu a dále i s přísadami AD-2 s 0,3% obsahu z celkového množství asfaltu a ADHEZIL Z s 0,2% obsahu z celkového množství asfaltu.

3.3.1. Základní informace k výrobě směsi

Pro výrobu směsi v laboratoři slouží norma ČSN EN 12697-35 - Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 35: Laboratorní výroba směsi.

V rámci praktické části diplomové práce bylo vyrobeno několik směsí o různých hmotnostech. V této kapitole popíši výrobu směsi obecně bez udávání konkrétních hodnot hmotností jednotlivých frakcí kameniva, asfaltu a případné přísady.

Pro urychlení výpočtu byl použit excelový soubor z laboratoří TPA. Tento soubor má již v sobě naprogramované veškeré nutné výpočty.

Pro výrobu směsi byly použity tyto pomůcky a zařízení: robotická laboratorní míchačka s příslušenstvím, tepelná spirála, mísa, špachtle, teploměry s rozsahem do 200°C, váha, rukavice, kamenná dlaždice pro postavení zahřáté mísy na váhu, alobal na zahřáté mísy a plechovky, papírky na otření asfaltu z plechovky, odvětraná sušárna s rozsahem teploty do 200°C.

3.3.2. Postup výroby směsi

Jednotlivé frakce kameniva se postupně naváží do mísy a promíchají. Je to proto, že se z této mísy musí přesypat do nádoby, kterou lze pevně umístit do robotické míchačky. V této míse se kamenivo vloží do sušárny a temperuje se na 150°C.



3.10. Navážené kamenivo před vložením do sušárny

Do sušárny se rovněž vloží asfalt, se kterým se bude kamenivo míchat dohromady. Tento asfalt se vytemperuje na teplotu 150°C.

Nádoba do robotické míchačky spolu s míchací násadou se taktéž vloží do sušárny a zahřeje společně s kamenivem a asfaltem na stejnou teplotu.

Během zahřívání kameniva a asfaltu se připraví váha s keramickou deskou, která slouží jako ochrana váhy před poškozením. Dále se připraví špachtle a papírky na otření nádoby s asfaltem. Robotickou míchačku a tepelnou spirálu uvedeme do chodu. Spirála slouží pro udržení míchací teploty na 150°C.



3.11. Robotická laboratorní míchačka s příslušenstvím a tepelnou spirálou

Po zahřátí na požadovanou teplotu, která je uvedena v tabulce 1 této normy, se kamenivo naváží do nádoby, kterou následně umístíte do robotické míchačky. Ke kamenivu se dle receptury přidá asfalt, a pokud má do směsi přijít přísada, tak i tato konkrétní přísada ve stanoveném množství.

Následně se celá směs umístí do míchačky a míchá tak dlouho, dokud nedojde k požadovanému obalení kameniva pojivem. Směs se vizuálně posoudí, zda je homogenní. Maximální dobu míchání udává tabulka 2 této normy. Pro směs, kterou jsem vyrobila, je tato doba maximálně 3 minuty.

Po zamíchání směsi se přejde k přípravě směsi na zkušební tělesa.

3.3.3. Základní informace pro přípravu těles

Pro výrobu směsi v laboratoři slouží norma ČSN EN 12697-30 - Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 35: Příprava těles rázovým zhutňovačem.

Pro přípravu těles byly použity tyto pomůcky a zařízení: rukavice, misky, váhy, lopatka, nůž, papírky do formy, sušárna s teplotou alespoň do 200°C, ocelová deska, několik válcových forem s nástavcem a podložkou, násypka, výtlačné zařízení, rázový zhutňovač s ocelovým dolním podstavcem (viz. obr. 2.3.).

3.3.4. Příprava těles

Po výrobě směsi se přistoupí k přípravě těles. Směs se rozloží na ocelovou desku a do menších misek lopatkou nabere a naváží potřebné množství. Vloží se do sušárny spolu s formou a vyhřeje na 150°C.



3.12. Rozložená směs na ocelové desce

Po zahřátí se složí forma s nástavcem a podložkou a vloží se papír kruhového tvaru. Tento papír slouží jako ochrana před přilepením směsi na zhutňovač. Umístí se zde násypka, která slouží pro usměrnění sypaní směsi do formy. Vsype se navážená směs, odstraní násypka a položí se na směs další papírek.



3.13. Válcová forma s nástavcem, podložkou a násypkou

Ihned se vloží do zhutňovače a zhutní. Pro zjištění maximální objemové hmotnosti, objemové hmotnosti a mezerovitosti se provede hutnění 50 úderů z každé strany (tj. celkem 100 úderů). Pro zjišťování odolnosti vůči vodě se provede hutnění 25 úderů z každé strany (tj. celkem 50 úderů).

Forma se vyndá ze zhutňovače a odebere se nástavec s podložkou, které se vloží zpět do sušárny a použijí při přípravě dalšího tělesa. Nožem se opatrně odstraní papírky, které se zde položily tak, aby se těleso nepoškodilo. Po zchladnutí se těleso vytlačí z formy pomocí výtlačného zařízení.



3.14. Výtlačné zařízení

3.4. Zjišťování základních parametrů

Pro určení těchto základních parametrů, jako je maximální objemová hmotnost, objemová hmotnost, mezerovitost, stupeň vyplnění mezer a obsah rozpustného pojiva v procentech objemu, se používají tři evropské normy. Jedná se o ČSN EN 12697-5 – Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti; ČSN EN 12697-6 – Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa; ČSN EN 12697-8 – Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí.

V normě ČSN EN 13108-1 jsou stanoveny požadavky na tyto základní parametry z hlediska asfaltových směsí v různých vrstvách vozovky. Je proto zapotřebí tyto požadavky dodržet.

Na základě výsledků přilnavosti byly vybrány tři vzorky ke zjišťování základních parametrů - max. obj. hmotnosti, obj. hmotnosti, mezerovitosti a stupně vyplnění mezer. Všechny jsou s krakovaným asfaltem 50/70, z nichž jeden je bez přísad a další dva jsou s nejlepší přísadou a nejhorší přísadou. Tou nejlepší přísadou bylo AD-2 s 0,3% obsahu pojiva a nejhorší přísadou byl ADHESIL Z s 0,2% obsahu pojiva.

Pro tyto zkoušky jsou zapotřebí tyto pomůcky a zařízení: váhy, teploměry, vodní lázeň, pyknometr, vývěva, odvzdušněná voda, vlhká jelenice.

Nezbytnou součástí pro zjištění maximální objemové hmotnosti je asfaltová směs, která se vloží do pyknometru. Pro zjištění objemové hmotnosti je zapotřebí vyrobít válcová tělesa s průměrem 100 ± 3 mm a výškou $63,5 \pm 2,5$ mm. Pro stanovení mezerovitosti není zapotřebí zkušebních těles ani asfaltové směsi, jelikož se tento parametr následně vypočítá po zjištění maximální objemové hmotnosti a objemové hmotnosti.

Termíny zkoušení: 5. 3. 2018 – 7. 3. 2018 (krakovaný asfalt 50/70 – vzorky bez přísad + vzorky s přísadou AD-2); 21. 5. 2018 – 23. 5. 2018 (krakovaný asfalt 50/70 – vzorky s přísadou ADHEZIL Z).

3.4.1. Stanovení maximální objemové hmotnosti

Pro zjištění tohoto parametru lze podle normy postupovat třemi různými způsoby. V této práci byl zvolen postup A: Volumetrický postup.

V první řadě je nutné zjistit hmotnost prázdného pyknometru i s nástavcem (m_1) o známém objemu (V_p). Tento objem lze stanovit z přílohy C v příslušné normě.

Následně se do pyknometru umístí asfaltová směs a nechá se vytemperovat na okolní teplotu. Stanoví se hmotnost pyknometru se směsí a nástavcem (m_2).

Poté se pyknometr bez nástavce naplní odvzdušněnou vodou maximálně 30mm pod jeho okraj. Vzduch, který se zde zachytil, se musí odstranit za použití částečného vakua. Toto vakuum musí mít zbytkový tlak 4 kPa, případně méně a musí se udržovat po dobu 15 ± 1 minut. Do pyknometru se opatrně doplní odvzdušněná voda tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu a mohl se nasadit nástavec. Následně se tento vzorek umístí do vodní lázně, kde se zahřeje na zkušební teplotu $25 \pm 1^\circ\text{C}$ po dobu minimálně 15 minut a maximálně 180 minut. Pak se pyknometr doplní znovu vodou až po referenční značku, která je na nástavci. Tato voda musí být taktéž uložena v nádobě na vodu ve vodní lázni společně s pyknometrem, aby měla požadovanou teplotu.

Z vodní lázně se pak pyknometr vyndá, osuší se z vnější strany a stanoví se jeho hmotnost (m_3).

Poté se stanoví hustota vody podle vzorce (2), kterou doplníme do vzorce (3) pro samotný výpočet maximální objemové hmotnosti.



3.15. Pyknometr s nástavcem a směsí

3.4.2. Výsledky

Obecný výpočet hustoty vody pro teplotu 24°C pro všechny zkoušené vzorky podle vzorce (2):

$$\rho_w = 1,00016584 + \left(\frac{7,93 \cdot 24 - 5,29 \cdot 24^2}{1000000} \right) = 0,9973 \text{ Mg/m}^3$$

Vzorek bez přísad

Pyknometr č.	23	
m ₁ =	701,1	g
m ₂ =	1642,3	g
m ₃ =	2590,3	g
V _p =	0,0013186	m ³

Tab. 11. Hodnoty pro výpočet max. obj. hm. vzorku BEZ PŘÍRAD

Výpočet maximální objemové hmotnosti podle vzorce (3):

$$\rho_{mv} = \frac{1642,3 - 701,1}{10^6 \cdot 0,0013186 - (2590,3 - 1642,3)/0,9973} = 2,557 \text{ Mg/m}^3$$

Vzorek s přísadou AD-2

Pyknometr č.	28	
m ₁ =	698,6	g
m ₂ =	1610,9	g
m ₃ =	2568,8	g
V _p =	0,0013140	m ³

Tab. 12. Hodnoty pro výpočet max. obj. hm. vzorku s AD-2

Výpočet maximální objemové hmotnosti podle vzorce (3):

$$\rho_{mv} = \frac{1610,9 - 698,6}{10^6 \cdot 0,0013140 - (2568,8 - 1610,9)/0,9973} = 2,581 \text{ Mg/m}^3$$

Vzorek s přísadou ADHESIL Z

Pyknometr č.	28	
m ₁ =	698,6	g
m ₂ =	1619,5	g
m ₃ =	2570,5	g
V _p =	0,0013140	m ³

Tab. 13. Hodnoty pro výpočet max. obj. hm. vzorku s ADHESIL Z

Výpočet maximální objemové hmotnosti podle vzorce (3):

$$\rho_{mv} = \frac{1619,5 - 698,6}{10^6 \cdot 0,0013140 - (2570,5 - 1619,5)/0,9973} = 2,555 \text{ Mg/m}^3$$

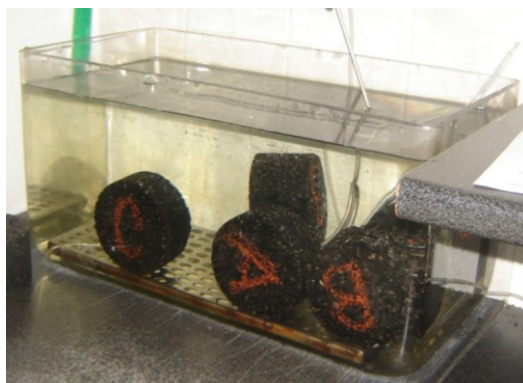
3.4.3. Stanovení objemové hmotnosti

Objemovou hmotnost lze získat čtyřmi postupy. Zvolen byl postup B: Objemová hmotnost – nasycený suchý povrch (SSD).

Stanoví se hmotnost suchého zkušebního tělesa (pro zjednodušení dále jen těleso) (m_1). Stanoví se hustota vody podle vzorce (5), do které se ponoří těleso. Tato voda tvoří vodní lázeň, která má známou zkušební teplotu. Tělesa se ponechají v lázni dostatečně dlouho sytit tak, aby jejich hmotnost zůstala po nasycení konstantní.

Těleso, které je stále ponořené v lázni se zváží a zjistí se tak hmotnost nasyceného tělesa (m_2) ve vodní lázni. Následně těleso vyjmeme a povrchově osušíme jelenicí. Opět se dané těleso zváží a zjistí se hmotnost nasyceného povrchově osušeného tělesa (m_3).

Poslední částí je doplnění do vzorce (4) a vypočítání dané objemové hmotnosti jednotlivých těles a zjištění jejich průměru.



3.16. Tělesa ve vodní lázni

3.4.4. Výsledky

Obecný výpočet hustoty vody pro teplotu 19,5°C pro zkoušený vzorek bez přísad a vzorek s AD-2 podle vzorce (5):

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,93 \cdot 19,5 - 5,29 \cdot 19,5^2}{1000000} \right) = 0,9984 \text{ Mg/m}^3$$

A pro teplotu 21°C pro zkoušený vzorek s ADHESIL Z podle vzorce (5):

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,93 \cdot 21 - 5,29 \cdot 21^2}{1000000} \right) = 0,9981 \text{ Mg/m}^3$$

Pro zjištění objemové hmotnosti SSD je vzorec č. (4).

Vzorek bez přísad

m ₁	1244,3	1270,3	1257,3	zničený vzorek	g
m ₂	739,5	754,3	745,9		g
m ₃	1247,5	1271,7	1259,4		g
ρ _{bssd}	2,445	2,451	2,445		Mg/m³
ρ _{bssd}	2,447				Mg/m³

Tab. 14. Hmotnosti vzorků, obj. hm. a průměr obj. hmotností – BEZ PŘÍSAD

Vzorek s přísadou AD-2

m ₁	1260,5	1258,8	1260,7	1257,8	g
m ₂	753,5	750,1	752,2	752,7	g
m ₃	1261,8	1260,3	1261,4	1258,4	g
ρ _{bssd}	2,476	2,463	2,472	2,483	Mg/m³
ρ _{bssd}	2,474				Mg/m³

Tab. 15. Hmotnosti vzorků, obj. hm. a průměr obj. hmotností - AD-2

Vzorek s přísadou ADHESIL Z

m ₁	1247,1	1245	1251,7	1250,2	g
m ₂	742,5	741,8	746	744,2	g
m ₃	1249,1	1248,3	1256,6	1253,7	g
ρ _{bssd}	2,457	2,453	2,447	2,449	Mg/m³
ρ _{bssd}	2,451				Mg/m³

Tab. 16. Hmotnosti vzorků, obj. hm. a průměr obj. hmotností - ADHESIL Z

3.4.5. Stanovení mezerovitosti

Ke zjištění mezerovitosti stačí zjistit maximální objemovou hmotnost směsi a objemovou hmotnost tělesa. Není třeba provádět další zkoušky na asfaltové směsi či tělesech.

Pro výpočet tohoto parametru slouží vzorec (7).

3.4.6. Výsledky

Vzorek bez přísad

Výpočet mezerovitosti podle vzorce (7):

$$V_m = \frac{2,557 - 2,447}{2,557} \cdot 100 = 4,3\%$$

Vzorek s přísadou AD-2

Výpočet mezerovitosti podle vzorce (7):

$$V_m = \frac{2,581 - 2,474}{2,581} \cdot 100 = 4,2\%$$

Vzorek s přísadou ADHESIL Z

Výpočet mezerovitosti podle vzorce (7):

$$V_m = \frac{2,555 - 2,451}{2,555} \cdot 100 = 4,1\%$$

3.4.7. Stanovení stupně vyplnění mezer

Ke zjištění stupně vyplnění mezer potřebujeme znát mezerovitost, objemovou hmotnost tělesa a objemovou hmotnost pojiva. Objemová hmotnost pojiva je 1020 kg/m^3 . Dále je zapotřebí znát obsah pojiva ve zkušebním tělese uvedený v procentech.

Je nutné nejprve zjistit mezerovitost směsi kameniva v procentech (VMA) podle vzorce (9). Poté je tato hodnota doplněna do vzorce (8) a zjištěn stupeň vyplnění mezer (VFB).

3.4.8. Výsledky

Vzorek bez přísad

VMA =	15,3%
VFB =	72,1%

Tab. 17. Vzorek BEZ PŘÍSAD - VMA a VFB

Vzorek s přísadou AD-2

VMA =	15,4%
VFB =	72,4%

Tab. 18. Vzorek s AD-2 - VMA a VFB

Vzorek s přísadou ADHESIL Z

VMA =	15,2%
VFB =	72,7%

Tab. 19. Vzorek s ADHESIL Z - VMA a VFB

3.4.9. Obsah rozpustného pojiva

Obsah rozpustného pojiva je v návrhu směsi stanoven na 4,6% hmotnosti celé směsi. V normě ČSN EN 13108-1 v poznámkách tabulky NA-E.5.2 je vzorec i pro výpočet obsahu rozpustného pojiva v procentech objemu. Jedná se o vzorec (11).

3.4.10. Výsledky

Vzorek bez přísad

$$B_{vol} = 2,447 \cdot \frac{4,6}{1,020} = \mathbf{11,5\%}$$

Vzorek s přísadou AD-2

$$B_{vol} = 2,474 \cdot \frac{4,6}{1,020} = \mathbf{11,2\%}$$

Vzorek s přísadou ADHESIL Z

$$B_{vol} = 2,451 \cdot \frac{4,6}{1,020} = \mathbf{11,1\%}$$

3.4.11. Vyhodnocení výsledků

Parametr	Označení	Jednotky	BEZ PŘÍRAD	AD-2	ADHESIL Z	Průměry
max. obj. hmotnost	ρ_{mv}	Mg/m ³	2,557	2,581	2,555	2,564
objemová hmotnost	ρ_{bssd}	Mg/m ³	2,447	2,474	2,451	2,457
mezerovitost	V_m	%	4,3	4,2	4,1	4,2
stupeň vyplnění mezer	VFB	%	72,1	72,4	72,7	72,4
obsah pojiva	B_{vol}	% obj.	11,5	11,2	11,1	11,3

Tab. 20. Přehled výsledků základních parametrů

Objemové hmotnosti všech směsí se pohybují kolem průměru 2,564 Mg/m³. Maximální objemové hmotnosti kolem průměru 2,457 Mg/m³.

Mezerovitost směsí pro ložní vrstvy a konkrétně pro navrhovanou směs ACL 16+ je v rozmezí 4,0 – 6,0%. Z tohoto hlediska jsou směsí v přijatelných mezích.

Stupeň vyplnění mezer je v rozmezí 60 – 74%. Tento požadavek je rovněž u všech směsí splněn. Je však vidět, že se blíží maximu.

Minimální obsah pojiva je v procentech hmotnosti 4,2%. Pro návrh jsem použila množství pojiva 4,6%. Obsah pojiva je v procentech objemu minimálně 9,8% a podle výše uvedených výsledků je zřejmé, že je tento požadavek splněn u všech tří zkoušených směsí.

3.5. Odolnost vůči vodě

Pro odolnost vůči vodě slouží norma ČSN EN 12697-12 – Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti vůči vodě. Tato norma se ve svém postupu odkazuje při výpočtu na poměr pevností v příčném tahu. Pro zjištění pevnosti v příčném tahu slouží norma ČSN EN 12697-23 – Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu.

U zkoušených těles je nutné zjistit rozměry a vypočítat objemovou hmotnost. Pro tento postup slouží opět norma ČSN EN 12697-6 – Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa. Tentokrát se ovšem postupuje podle postupu D: Objemová hmotnost podle rozměrů.

Na základě výsledků přilnavosti byly vybrány ke zkoušení odolnosti vůči vodě tři vzorky. Všechny jsou s krakovaným asfaltem 50/70, z nichž jeden je bez přísad a další dva jsou s nejlepší přísadou a nejhorší přísadou. Tou nejlepší přísadou bylo AD-2 s 0,3% obsahu z pojiva a nejhorší byl ADHESIL Z s 0,2% obsahu z pojiva. V každé sadě musí být vytvořeno 6 válcových zkušebních těles.

Pro stanovení odolnosti jsou zapotřebí tyto pomůcky a zařízení: zkušební lis, posuvné měřítko, vakuový systém, dvě vodní lázně (jedna o teplotě $40\pm 1^{\circ}\text{C}$ a druhá o teplotě $25\pm 2^{\circ}\text{C}$).

Termíny zkoušení: 14. 6. 2018 – 18. 6. 2018 (krakovaný asfalt 50/70 – vzorky s přísadou AD-2 a ADHESIL Z – 1. zkoušení); 25. 6. 2018 – 29. 6. 2018 (krakovaný asfalt 50/70 – vzorek bez přísad); 16. 8. 2018 – 20. 8. 2018 (krakovaný asfalt 50/70 – vzorky s přísadou AD-2 a ADHESIL Z – 2. zkoušení).

3.5.1. Postup zkoušky

Pro zjištění odolnosti vůči vodě norma stanovuje tři různé metody. Zvolila jsem metodu A.

Tělesa jsou vyrobena podle postupu popsáném v normě ČSN EN 12697-30. Za pomoci rázového zhutňovače s 2 x 25 úderů (celkem 50 úderů).

Zchladlá tělesa se nejprve opracují tak, aby byla na pohled symetrická a měla hladkou kruhovou plochu, ze které nebudou vypadávat žádná obalená zrna. Poté se zjistí rozměry za pomoci posuvného měřítka. Zjišťuje se průměr tělesa v milimetrech. Průměr se měří

třikrát z každé strany a následně je stanovena průměrná hodnota. Výška tělesa je stanovena ze čtyř měření a rovněž je zjištěna průměrná hodnota v milimetrech. Následně je těleso zváženo a stanoven objem tělesa v centimetrech kubických podle vzorce (12), tj. viz níže.

$$V_t = \frac{H \cdot D^2 \cdot \frac{\pi}{4}}{1000} \quad (12)$$

Dále je podle vzorce (6) stanovena objemová hmotnost. Na základě objemové hmotnosti a výšky tělesa jsou tělesa rozdělena do dvou skupin po třech vzorcích.

Všechna zkušební tělesa by měla být stejného stáří a před zahájením samotného postupu by mělo být umožněno jejich zrání na dobu 16 až 24 hodin.

Skupina suchých těles je uložena na rovný povrch v laboratoři s laboratorní teplotou $20 \pm 5^\circ\text{C}$.

Skupina mokrých těles se umístí do vakuové komory na perforovanou vložku. V komoře by měla být destilovaná voda s teplotou $20 \pm 5^\circ\text{C}$, která by měla být minimálně 20 mm nad povrchem zkušebních těles. Během 10 ± 1 minut je v komoře vytvořen absolutní zbytkový tlak, který činí $6,7 \pm 0,3$ kPa. Tlak je nutné postupně snižovat, jinak může dojít k poškození těles vlivem rozpínajícího se vzduchu. Tento tlak je pak udržován po dobu 30 ± 5 minut. Poté je vpouštěn atmosférický tlak pomalu do komory.

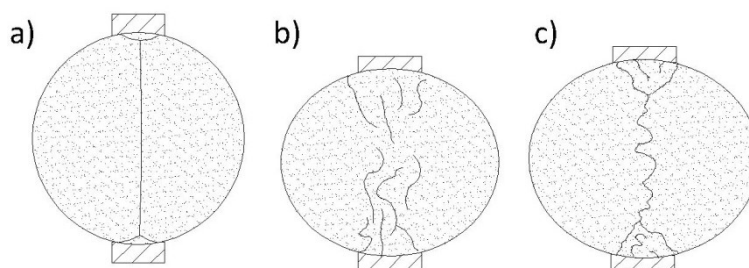
Po dobu dalších 30 ± 5 minut jsou tělesa ponechána ponořená ve vodě. Po vytažení těles je opět zjištěn jejich objem pomocí vzorce (12). Pokud se jejich objem zvýšil o více jak 2%, tělesa se vyloučí. Skupina mokrých těles je potom na dobu 68 – 72 hodin uložena do vodní lázně s teplotou $40 \pm 1^\circ\text{C}$.

Po uplynutí 68 – 72 hodin jsou zkušební tělesa zahřáta na zkušební teplotu, která je v rozmezí $5\text{--}25^\circ\text{C}$. Doporučená a mnou zvolená hodnota je $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Pro skupinu suchých těles se této hodnoty dosáhne vložením do plastických sáčků a vodní lázně, nebo vložením do termostaticky regulované sušárny.

Skupinu mokrých těles lze vložit přímo do vodní lázně. Tato vodní lázeň má teplotu $25 \pm 2^\circ\text{C}$. Ve vodní lázni jsou ponechána minimálně 2 hodiny, avšak musí mít zkušební teplotu stejnou jako suchá tělesa. Potom jsou tělesa vyjmuta a povrchově osušena. Ihned po osušení je stanoveno maximální zatížení. K tomuto slouží zkušební lis, který je opatřený tlačnou čelistí se zatěžovacími pásy (viz. obr. 2.2.).

Na lisu je zjištěno maximální zatížení tak, že je těleso umístěno na spodní pás. U tělesa je nutné zatěžovat jeho průměr (viz. obr. 2.2.). Zahájí se stlačování tělesa, které probíhá bez přerušování a bez nárazů s konstantní rychlostí 50 ± 2 mm/min až do doby, kdy je dosaženo jeho maximálního zatížení. Následně se pokračuje v zatěžování, až se těleso poruší a zjistí se typ porušení, který se klasifikuje do jednoho ze tří typů poškození:

- a) „rovná podélná prasklina“
- b) „deformace“
- c) „kombinace“.



3.17. Typy porušení zkušebních těles

Ze zjištěného maximálního zatížení je podle vzorce (10) vypočítána pevnost v příčném tahu ITS. Z každé trojice vzorků (suché a mokré) je zjištěna průměrná pevnost v příčném tahu. Tato pevnost je uvedena v megapascálech. Na závěr je zjištěn poměr pevností mezi suchými a mokрыmi vzorky podle vzorce (1).



3.18. Lis na příčný tah se zkoušeným tělesem

3.5.2. Výsledky

V každé sadě 6-ti vzorků jsou 3 vzorky zkoušeny v lisu po 3 dnech na suchém a rovném povrchu a další 3 vzorky zkoušeny po 3 dnech působení 40°C vody. Tyto trojice vzorků jsou zpracovány do níže přidaných grafů a tabulek.

Grafy značí průběh pevnosti v čase. V grafech jsou tyto trojice zpracovány pomocí průměrné hodnoty v daný čas. V tabulce jsou taktéž průměrné hodnoty výšky a průměru tělesa. Dále je zde průměr maximálních pevností všech tří těles.

Vzorky bez přísady

Vzorky bez přísad		
suchá tělesa		
P	10877	N
D	102,4	mm
H	59,4	mm
ITS _d	1,138	MPa
mokrā tělesa		
P	6961	N
D	102,6	mm
H	61,9	mm
ITS _w	0,698	MPa
ITSR	61%	poměr pevností v příčném tahu

Tab. 21. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky bez přísad

Vzorek s přísadou AD-2 – zkoušení č. 1

Vzorky s AD-2 - z. č. 1		
suchā tělesa		
P	10860	N
D	102,1	mm
H	62,5	mm
ITS _d	1,084	MPa
mokrā tělesa		
P	4707	N
D	102,8	mm
H	62,0	mm
ITS _w	0,470	MPa
ITSR	43%	poměr pevností v příčném tahu

Tab. 22. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s AD-2 - zkoušení č. 1

Vzorek s přísadou AD-2 – zkoušení č. 2

Vzorky s AD-2 - z. č. 2		
suchá tělesa		
P	6023	N
D	102,2	mm
H	62,4	mm
ITS _d	0,602	MPa
mokrā tělesa		
P	5531	N
D	102,6	mm
H	61,1	mm
ITS _w	0,562	MPa
ITSR	93%	poměr pevností v příčném tahu

Tab. 23. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s AD-2 - zkoušení č. 2

Vzorek s přísadou ADHESIL Z – zkoušení č. 1

Vzorky s ADHESIL Z - zkoušení č. 1		
suchā tělesa		
P	10597	N
D	102,1	mm
H	62,6	mm
ITS _d	1,055	MPa
mokrā tělesa		
P	6103	N
D	102,3	mm
H	62,1	mm
ITS _w	0,611	MPa
ITSR	58%	poměr pevností v příčném tahu

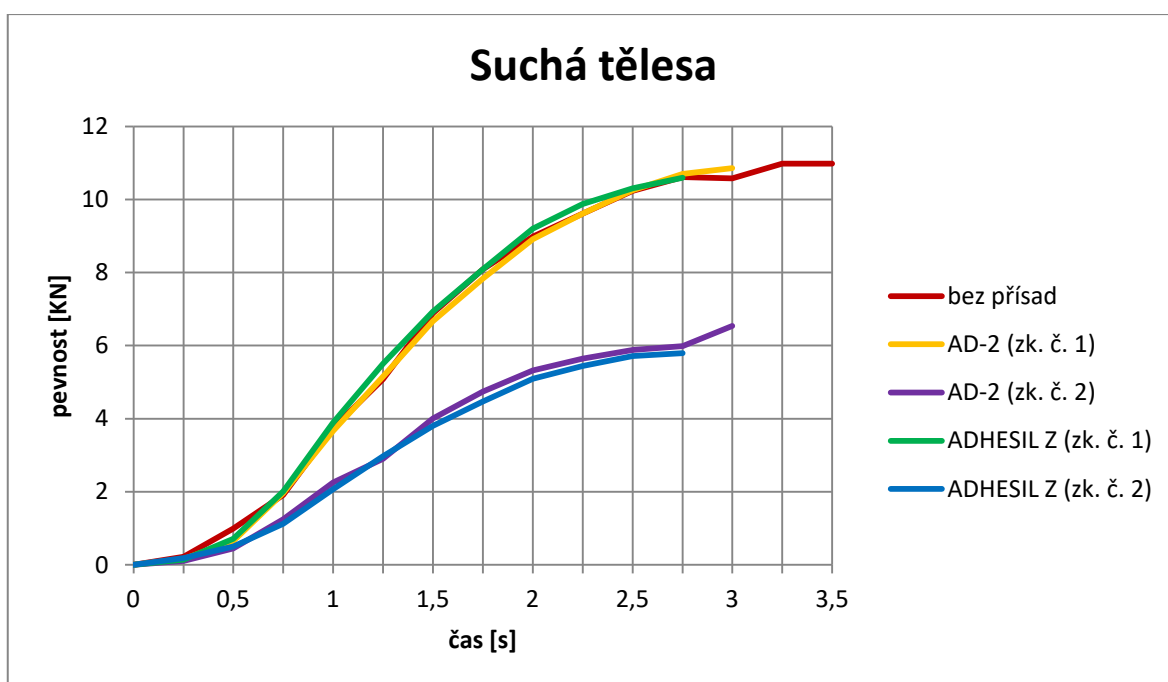
Tab. 24. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s ADHESIL Z - zkoušení č. 1

Vzorek s přísadou ADHESIL Z – zkoušení č. 2

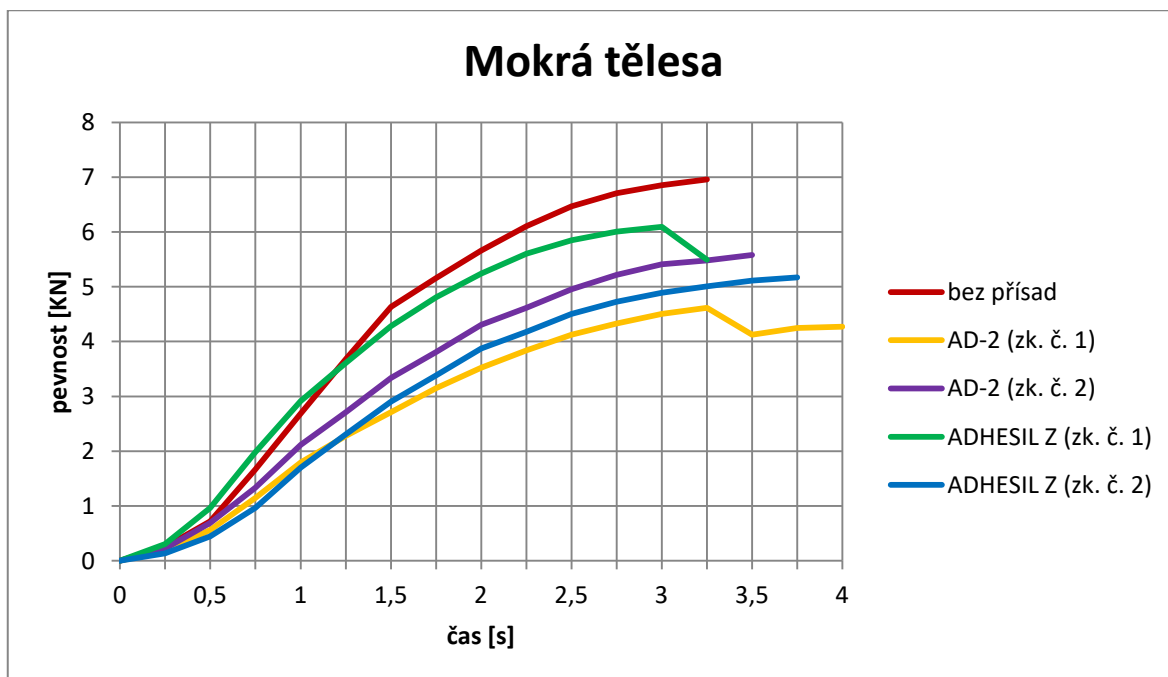
Vzorky s ADHESIL Z - zkoušení č. 2		
suchá tělesa		
P	5785	N
D	102,2	mm
H	62,0	mm
ITS _d	0,582	MPa
mokrā tělesa		
P	5092	N
D	102,9	mm
H	60,9	mm
ITS _w	0,518	MPa
ITSR	89%	poměr pevností v příčném tahu

Tab. 25. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s ADHESIL Z - zkoušení č. 2

Grafy výsledků odolnosti vůči vodě



Graf 10. Suchá tělesa - průběh pevností v čase



Graf 11. Mokrá tělesa - průběh pevností v čase

3.5.3. Vyhodnocení výsledků

	bez přísady	s AD-2 - z. č. 1	s AD-2 - z. č. 2	s ADHESIL Z - z. č. 1	s ADHESIL Z - z. č. 2
ITSR	61%	43%	93%	58%	89%

Tab. 26. Přehled výsledků odolnosti vůči vodě

V normě ČSN EN 13108-1 je stanoven poměr pevností v příčném tahu pro asfaltové ložní vrstvy ACL 16+ (navrhovaná směs) a ACL 22+ na 70%.

Z přehledu výsledků je vidět, že vzorky bez přísady mají poměr 61%, což je o 9% méně než norma požaduje. Při prvním zkoušení vzorků s přísadou jsou poměry velmi malé 43% (AD-2) a 58% (ADHESIL Z). Tyto zkoušené vzorky tedy vůbec nevyhověly. Ve druhém zkoušení se poměr navýšil na 93% (AD-2) a 89% (ADHESIL Z). Tento poměr je velmi dobrý.

Zkoušení těles s přísadami proběhlo 2x. Důvodem bylo nepřesné provedení postupu první zkoušky. V důsledku toho vzorky nesplňovaly minimální požadavek na odolnost vůči vodě. Při druhém zkoušení vzorků s přísadami bylo proto postupováno mnohem pečlivěji a přesněji.

3.6. Tabulka výsledků

Parametr	Označení	Jednotka	ČSN EN 13108-1	BEZ PŘÍRAD	s AD-2	s ADHESIL Z
mezerovitost	V_m min-max	%	4-6	4,3	4,2	4,1
poměr pevnosti v příčném tahu	ITSR	%	70	61	93	89
minimální obsah rozpustného pojiva	B_{min}	% hm.	4,2	4,6	4,6	4,6
minimální obsah rozpustného pojiva	B_{vol}	% obj.	9,8	11,5	11,2	11,1
stupeň vyplnění mezer	VFB min-max	%	60-74	72,1	72,4	72,7
maximální objemová hmotnost	ρ_{mv}	Mg/m ³	není stanovena	2,557	2,581	2,555
objemová hmotnost	ρ_{bssd}	Mg/m ³	není stanovena	2,447	2,474	2,451

Tab. 27. Shrnutí všech výsledků

Minimální obsah rozpustného pojiva v procentech hmotnosti je normou stanoven na 4,2%. Při navrhování směsí byl stanoven obsah 4,6% hmotnosti. Obsah pojiva v procentech objemu je dopočítán pomocí vzorce a je vyšší než 9,8% objemu, které minimálně požaduje norma.

Stupeň vyplnění mezer je v rozmezí 60-74%. Tento stupeň se sice u zkoušených vzorků blíží k maximu, ale stále je v mezích normy.

Mezerovitost je normou stanovena na rozmezí 4-6%. Zkoušené vzorky jsou u hranice minima, avšak požadavek normy splňují.

4. Závěr

Cílem diplomové práce bylo ověřit použití v praxi již aplikovaných adhezivních přísad a přísad nových na bázi nanotechnologií od firmy ENVIRON. Součástí zadání bylo porovnání jednotlivých přísad z hlediska přilnavosti asfaltového pojiva ke kamenivu a posouzení jejich působení na vlastnost asfaltové směsi – odolnost směsi vůči účinkům vody.

Z porovnání jednotlivých adhezivních přísad vyplývá, že nejlepší výsledky přilnavosti vykazovala již v praxi používaná přísada AD-2 v množství 0,3% pro krakovaný asfalt 50/70.

Další vzorky, které splnily požadavek ČSN EN 13108-1 na výbornou přilnavost, jsou ADDIBIT v množství 0,2% a 0,3% pro bezkrakový asfalt 50/70, ADHESIL Z-2 v množství 0,3% pro krakovaný asfalt, BITUSIL-2 v množství 0,3% pro krakovaný asfalt a dále modifikované asfalty bez přísady. Dobrou přilnavost vykazují přísady ADHESIL Z v množství 0,3% pro krakovaný a bezkrakový asfalt, BITUSIL v množství 0,2% a 0,3% pro bezkrakový asfalt, BITUSIL-2 v množství 0,2% pro krakovaný asfalt a ADDIBIT v množství 0,2% a 0,3% pro krakovaný asfalt. Požadavek na vyhovující přilnavost splnila pouze přísada BITUSIL v množství 0,3% pro krakovaný asfalt. Nevhovující přilnavost mají vzorky ADHESIL Z-2 v množství 0,2% pro krakovaný asfalt, ADHESIL Z v množství 0,2% pro bezkrakový asfalt a bezkrakový asfalt bez přísady. Viz Tab. 10.

Nejhorší výsledky z hlediska přilnavosti vykazovala přísada ADHESIL Z v množství 0,2% pro krakovaný asfalt 50/70 a dále krakovaný asfalt bez přísady.

Z provedených zkoušek bylo také zjištěno, že bezkrakový asfalt vykazuje lepší výsledky přilnavosti než asfalt krakovaný.

Pro stanovení odolnosti směsi vůči účinkům vody byla zvolena směs ACL 16+ do ložních vrstev dle ČSN EN 13108-1. Tato směs je určena pro obalovnu Týniště nad Orlicí a je vyrobena z kameniva Skuteč – Litická a Budislav s přidáním vápencové moučky VJM 7 Vitošov. Tato směs byla vyrobena s pojivem 50/70 bez přísady, s pojivem 50/70 a přísadou AD-2 a třetí směs s pojivem 50/70 a přísadou ADHESIL Z.

Z hlediska odolnosti směsi vůči účinkům vody byla jako nejlepší směs vyhodnocena směs ACL 16+ s pojivem 50/70 a adhezivní přísadou AD-2 v množství 0,3% obsahu pojiva. Směs s nanopřísadou ADHESIL Z má výsledky odolnosti horší, nicméně pro použití do asfaltové směsi pro ložní vrstvy je výsledná hodnota vyhovující.

Závěrem lze konstatovat, že nové přísady na bázi nanotechnologií mají svou budoucnost, firma ENVIRON stále vyvíjí jejich nové varianty, což se projevilo i v průběhu zpracování této diplomové práce, kdy byly dodány nové vzorky přísad ADHESIL Z a BITUSIL v jiném tekutějším složení. Tyto nové vzorky byly vhodnější pro použití z důvodu lepšího dávkování přísad do směsi a manipulaci s nimi. V konečném porovnání z hlediska přilnavosti i odolnosti směsi vůči vodě byla standardní přísada AD-2 bez nanotechnologií vykazoval lepší výsledky než přísady ADHESIL Z a BITUSIL na bázi nanotechnologií.

Jejich další použití doporučuji podložit dalšími zkouškami – např. odolnosti vůči trvalým deformacím (pojíždění kolem). Tuto zkoušku jsem neměla možnost provést a ani nebyla součástí zadání diplomové práce.

5. Zdroje

5.1. Seznam použitých norem

- [1] ČSN 73 6161 Stanovení přilnavosti asfaltových pojiv ke kamenivu; ČNI, 2000
- [2] ČSN EN 12697-5 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti; ÚNMZ, 2010
- [3] ČSN EN 12697-6 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa; ÚNMZ, 2012
- [4] ČSN EN 12697-8 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí; ČNI, 2004
- [5] ČSN EN 12697-11 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 11: Stanovení afinity mezi pojivem a kamenivem; ÚNMZ, 2012
- [6] ČSN EN 12697-12 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě; ÚNMZ, 2009
- [7] ČSN EN 12697-23 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu; ÚNMZ, 2018
- [8] ČSN EN 12697-29 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 29: Stanovení rozměrů asfaltových zkušebních těles; ČNI, 2003
- [9] ČSN EN 12697-30 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 30: Příprava zkušebních těles rázovým zhutňovačem; ÚNMZ, 2012
- [10] ČSN EN 12697-35+A1 Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 35: Laboratorní výroba směsí; ČNI, 2016
- [11] ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton; ČNI, 2008

[12] ČSN EN 13108-20 Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 20: Zkoušky typu; ČNI, 2008

5.2. Seznam použitých internetových zdrojů

[13] ropoweb.xf.cz [online]. [cit 2018-08-01]. Dostupné z:

<http://ropoweb.xf.cz/krakovani.html>

[14] www.petroleum.cz [online]. [cit 2018-08-01]. Dostupné z:

<http://www.petroleum.cz/vyroby/asfalty-silnicni.aspx>

[15] www.granita.cz [online]. [cit 2018-07-28]. Dostupné z:

<http://www.granita.cz/provozovny.html>

[16] oenergetice.cz/ropa [online]. [cit 2018-08-19]. Dostupné z:

<http://oenergetice.cz/ropa/zpracovani-ropy-1-cast-zakladni-zpracovani-ropy/>

[17] mondy.webnode.cz [online]. [cit 2018-05-25]. Dostupné z:

<https://mondy.webnode.cz/products/znaceni-asfaltovych-betonu/>

[18] homel.vsb.cz/~khe0007 [online]. [cit 2018-06-06]. Dostupné z:

http://homel.vsb.cz/~khe0007/opory/opory.php?stranka=asfalty_hodnoceni

[19] <https://cs.wikipedia.org> [online]. [cit 2018-08-19]. Dostupné z:

<https://cs.wikipedia.org/wiki/Adheze>

[20] <https://www.tesa.com> [online]. [cit 2018-07-31]. Dostupné z:

<https://www.tesa.com/cs-cz/wikitapia/kolik-vas-bude-stat-zaveseni-obrazku.html>

[21] <https://www.vitosov.cz/> [online]. [cit 2018-08-10]. Dostupné z:

<https://www.vitosov.cz/>

[22] www.pisniklipa.cz [online]. [cit 2018-08-10]. Dostupné z:

<http://www.pisniklipa.cz/informace>

5.3. Seznam použitých odborných zdrojů

- [23] Bezpečnostní list AD-2; podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady ES č. 1907/2006; ENVIRON, s.r.o.; 2016
- [24] Bezpečnostní list ADHESIL Z; podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady ES č. 1907/2006, ve znění Nařízení Komise (EU) 2015/830; ENVIRON, s.r.o.; 2017
- [25] Bezpečnostní list BITUSIL; podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady ES č. 1907/2006, ve znění Nařízení Komise (EU) 2015/830; ENVIRON, s.r.o.; 2017
- [26] Bezpečnostní list ADDIBIT L 300 N; podle Nařízení Evropského parlamentu a Rady ES č. 1907/2006; Evonik Nutrition & Care GmbH; 2016

5.4. Seznam obrázků

2.1. Pyknometr s nástavcem	14
2.2. Lis na stanovení pevnosti v příčném tahu	17
2.3. Schematický nákres rázového zhutňovače [9]	19
2.4. Typická forma pro rázový zhutňovač s ocelovou deskou.....	19
3.1. Nádobu na skladování vzorku.....	21
3.2. Nádobu na asfalt.....	22
3.3. Schéma atmosférické destilace ropy [16]	23
3.4. Promývání destilovanou vodou	27
3.5. Navážka kameniva v porcelánové misce	27
3.6. Míchání kameniva s asfaltem	28
3.7. Vzorek ve skleněné misce.....	28
3.8. Vzorek ve vodní lázni	28
3.9. Vzorek po 60 minutách ve vodní lázni	29
3.10. Navážené kamenivo před vložením do sušárny	41
3.11. Robotická laboratorní míchačka s příslušenstvím a tepelnou spirálou.....	42
3.12. Rozložená směs na ocelové desce	43
3.13. Válcová forma s nástavcem, podložkou a násypkou	43
3.14. Výtlačné zařízení	44

3.15. Pyknometr s nástavcem a směsí.....	47
3.16. Tělesa ve vodní lázni	49
3.17. Typy porušení zkušebních těles	56
3.18. Lis na příčný tah se zkoušeným tělesem.....	56

5.5. Seznam tabulek

Tab. 1. Procenta obalení zrn pro ADHESIL Z	30
Tab. 2. Procenta obalení zrn pro BITUSIL.....	31
Tab. 3. Procenta obalení zrn pro ADHESIL Z - 2 a BITUSIL – 2	32
Tab. 4. Srovnání ADHESILu Z a ADHESILu Z – 2	33
Tab. 5. Srovnání BITUSILu Z a BITUSILu Z – 2	34
Tab. 6. Procenta obalení zrn pro AD-2	35
Tab. 7. Procenta obalení zrn pro ADDIBIT.....	36
Tab. 8. Procenta obalení zrn pro vzorky BEZ PŘÍRAD	37
Tab. 9. Přehled NEJLEPŠÍCH a NEJHORŠÍCH PŘÍRAD	38
Tab. 10. Souhrnné hodnocení přilnavosti PODLE HODNOCENÍ	39
Tab. 11. Hodnoty pro výpočet max. obj. hm. vzorku BEZ PŘÍRAD	48
Tab. 12. Hodnoty pro výpočet max. obj. hm. vzorku s AD-2	48
Tab. 13. Hodnoty pro výpočet max. obj. hm. vzorku s ADHESIL Z.....	48
Tab. 14. Hmotnosti vzorků, obj. hm. a průměr obj. hmotností – BEZ PŘÍRAD.....	50
Tab. 15. Hmotnosti vzorků, obj. hm. a průměr obj. hmotností - AD-2	50
Tab. 16. Hmotnosti vzorků, obj. hm. a průměr obj. hmotností - ADHESIL Z.....	50
Tab. 17. Vzorek BEZ PŘÍRAD - VMA a VFB	51
Tab. 18. Vzorek s AD-2 - VMA a VFB.....	51
Tab. 19. Vzorek s ADHESIL Z - VMA a VFB	52
Tab. 20. Přehled výsledků základních parametrů	52
Tab. 21. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky bez přísad.....	57
Tab. 22. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s AD-2 - zkoušení č. 1	57
Tab. 23. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s AD-2 - zkoušení č. 2.....	58
Tab. 24. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s ADHESIL Z - zkoušení č. 1	58
Tab. 25. Výsledky odolnosti vůči vodě - vzorky s ADHESIL Z - zkoušení č. 2	59
Tab. 26. Přehled výsledků odolnosti vůči vodě	60

Tab. 27. Shrnutí všech výsledků	61
---------------------------------------	----

5.6. Seznam grafů

Graf 1. Grafické znázornění obalení zrn pro ADHESIL Z	30
Graf 2. Grafické znázornění obalení zrn pro BITUSIL	31
Graf 3. Grafické znázornění obalení zrn pro ADHESIL Z - 2 a BITUSIL - 2	32
Graf 4. Grafické srovnání ADHESILu Z a ADHESILu Z - 2	33
Graf 5. Grafické srovnání BITUSILu Z a BITUSILu Z - 2	34
Graf 6. Grafické znázornění obalení zrn pro AD-2	35
Graf 7. Grafické znázornění obalení zrn pro ADDIBIT	36
Graf 8. Grafické znázornění obalení zrn pro vzorky BEZ PŘÍSAD	37
Graf 9. Grafické porovnání NEJLEPŠÍCH a NEJHORŠÍCH PŘÍSAD	38
Graf 10. Suchá tělesa - průběh pevností v čase	59
Graf 11. Mokrá tělesa - průběh pevností v čase	60